



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



1999 YILI DOĞU MARMARA DEPREMİ
SONRASI DÜZCE İLİ ARAZİ
KULLANIMINDAKİ DEĞİŞİMLERİN
İZLENMESİ
Meltem ŞEN İBRAHİMOĞLU

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Harita Mühendisliği Anabilim Dalı

Haziran-2025
KONYA

Her Hakkı Saklıdır
TEZ KABUL VE ONAYI

Meltem ŞEN İBRAHİMOĞLU tarafından hazırlanan “1999 Yılı Doğu Marmara Depremi Sonrası Düzce İli Arazi Kullanımındaki Değişimlerin İzlenmesi” adlı tez çalışması .../.../... tarihinde aŐaĐıdaki jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Harita Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Unvanı Adı SOYADI
(Üniversitesi)

.....

Danışman

Prof. Dr. Ömer MUTLUOĞLU
(Konya Teknik Üniversitesi)

.....

Üye

Doç. Dr. Hasan Bilgehan MAKİNECİ
(Konya Teknik Üniversitesi)

Üye

Doç. Dr. Osman ORHAN
(Mersin Üniversitesi)

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Mevlüt UYAN
Enstitü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

İmza

Meltem ŞEN İBRAHİMOĞLU

Tarih:

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

1999 YILI DOĞU MARMARA DEPREMİ SONRASI DÜZCE İLİ ARAZİ KULLANIMINDAKİ DEĞİŞİMLERİN İZLENMESİ

Meltem ŞEN İBRAHİMOĞLU

Konya Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Harita Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Ömer MUTLUOĞLU

2025, 66 Sayfa

Jüri

Prof. Dr. Ömer MUTLUOĞLU
Doç. Dr. Hasan Bilgehan MAKİNECİ
Doç. Dr. Osman ORHAN

Bu çalışma, 1999 yılında gerçekleşen 17 Ağustos ve 12 Kasım depremlerinden sonra Düzce İl'inde meydana gelen arazi kullanım değişimlerinin zamansal olarak izlenmesi amacıyla uzaktan algılama (UA) ve coğrafi bilgi sistemleri (CBS) tekniklerinden yararlanılarak gerçekleştirilmiştir. Araştırmada, Earth Explorer platformu üzerinden temin edilen 4 zamana ait Landsat uydu görüntüleri kullanılmıştır. 1999 yılına ait Landsat 7 ETM+ verisi, 17 Ağustos ve 12 Kasım depremlerinden önceki dönemi temsil edecek şekilde seçilmiştir. Diğer yıllara ait veriler ise sırasıyla 2009 için Landsat 5 TM, 2019 ve 2024 için ise Landsat 8 OLI uydu sensörlerinden elde edilmiştir.

Görüntüler, sınıflandırma öncesi geometrik ve atmosferik düzeltmelere tabi tutulmuş; ardından bant kombinasyonları ve temel bileşen analizi (PCA) gibi görüntü zenginleştirme teknikleri ile iyileştirilmiştir. Özellikle farklı bant kombinasyonları kullanılarak tarım alanları, yapay alanlar ve ormanlık alanlar gibi sınıfların ayırt edilebilirliği artırılmıştır. Corine arazi örtüsü sınıflandırma sistemine dayalı olarak çalışma alanı dört temel arazi kullanım sınıfına: (tarım, orman, yapay alanlar ve su yapıları) ayrılmıştır.

Sınıflandırma işlemleri, ArcGIS yazılımı aracılığıyla destek vektör makineleri (DVM) algoritması kullanılarak kontrollü sınıflandırılmıştır. Her bir bant kombinasyonu için ayrı ayrı doğruluk analizleri yapılmış ve elde edilen sonuçlar karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Elde edilen sınıflandırma sonuçları üzerinden, 25 yıllık dönem boyunca Düzce'deki arazi kullanımındaki değişimler ortaya konmuş ve özellikle deprem sonrası yerleşim alanlarının genişleme eğilimleri analiz edilmiştir.

Bu çalışma, Düzce ilindeki arazi örtüsünün zamansal dönüşümünü ortaya koyarak, afet sonrası kentsel gelişim süreçlerinin mekânsal olarak daha iyi anlaşılmasına katkı sağlamayı amaçlamıştır.

Anahtar Kelimeler: Arazi Kullanımı, Arazi Örtüsü, Coğrafi Bilgi Sistemleri, Deprem, Uzaktan Algılama

ABSTRACT

MS THESIS

ASSESSMENT OF LAND USE CHANGES IN DÜZCE PROVINCE FOLLOWING THE 1999 EAST MARMARA EARTHQUAKE

Meltem ŞEN İBRAHİMOĞLU
Konya Technical University
Institute of Graduate Studies
Department of Geomatic Engineering

Advisor: Prof.Dr. Ömer MUTLUOĞLU

2025, 66 Pages

Jury
Prof. Dr. Ömer MUTLUOĞLU
Asst. Prof. Dr. Hasan Bilgehan Makineci
Asst. Prof. Dr. Osman Orhan

This study was conducted to monitor the temporal changes in land use that occurred in Düzce Province following the earthquakes of August 17 and November 12, 1999, using Remote Sensing (RS) and Geographic Information Systems (GIS) techniques. The analysis was based on four periods of Landsat satellite imagery obtained from the Earth Explorer platform. The 1999 Landsat 7 ETM+ image was selected to represent the pre-earthquake period, while subsequent data were acquired from Landsat 5 TM for 2009 and Landsat 8 OLI for both 2019 and 2024.

Prior to classification, the images were subjected to geometric and atmospheric corrections and enhanced using various image processing techniques, including band combinations and Principal Component Analysis (PCA). Different band combinations were utilized to improve the spectral separability of key land cover types, particularly agricultural areas, built-up areas, and forested lands. Based on the CORINE land cover classification scheme, the study area was categorized into four main land use classes; agriculture, forest, artificial surfaces, and water bodies.

Supervised classification was performed using the Support Vector Machine (SVM) algorithm in the ArcGIS software environment. Accuracy assessments were conducted separately for each band combination, and the results were evaluated comparatively. The classification outputs were then used to identify land use changes over the 25-year period, with a particular focus on the post-earthquake expansion patterns of urban areas.

This research aims to contribute to a better spatial understanding of land cover transformation in Düzce, particularly in the context of post-disaster urban development dynamics.

Keywords: Land Use, Land Cover, Geographic Information Systems (GIS), Earthquake, Remote Sensing.

ÖNSÖZ

Uzaktan algılama uygulamaları arazi kullanımının zamanla gerçekleşen değişimini ortaya koymak bakımından büyük öneme sahiptir. Bu çalışmalar arazi kullanımının gelişimi ve gelecekteki yönü itibariyle önemli sonuçlar sunmaktadır. Bu çalışmalarda kullanılan teknikler doğru sonuçlara ulaşmak için önem arz etmektedir. Çalışma Düzce İl'ini etkileyen depremler sonrası arazi kullanımındaki değişimleri incelemesi ile afet sonrası şehirleşme ve arazi kullanımı için örnek teşkil edecektir.

Yüksek Lisans sürecimde yardım ve desteğini esirgemeyen danışmanım Sayın Prof. Dr. Ömer Mutluoğlu'na şükranlarımı sunuyorum. Çalışma konumda ilham aldığım rahmetli Kadastrocu kayınbabam Mehmet İbrahimoglu'na rahmet diliyorum. Çalışmalarımnda desteğini esirgemeyen sevgili eşim Ali İbrahimoglu'na ve çok değerli hocam Doç. Dr. Hasan Bilgehan Makineci 'ye, çok teşekkür ederim.

Meltem ŞEN İBRAHİMOĞLU

KONYA-2025

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	ix
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASIMelte.....	3
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	9
3.1. Uzaktan Algılama	9
3.1.1. Elektromanyetik Enerji ve Elektromanyetik Spektrum	11
3.1.2. Landsat Uydu Sistemleri ve Özellikleri.....	12
3.2. Uzaktan Algılamada Sayısal Görüntü Çözümleme	15
3.2.1. Görüntülerin Ön İşlenmesi.....	15
3.2.1.1. Radyometrik Düzeltme	16
3.2.1.2. Geometrik Düzeltme.....	17
3.2.1.3. Yeniden Örnekleme	18
3.2.2. Görüntü Zenginleştirme ve Yöntemleri.....	19
3.2.2.1. Bant İndeksleri.....	19
3.2.2.1.1. NDVI (Vejetasyon İndeksi).....	19
3.2.2.1.2. NDBI (Normalize Edilmiş Yerleşim Yeri İndeksi).....	20
3.2.2.1.3. SAVI (Toprak Ayarlı Bitki Örtüsü İndeksi).....	20
3.2.2.2. Bant Kombinasyonları	20
3.2.2.2.1. Doğal Renk Bant Kombinasyonu	21
3.2.2.2.2. Sahte Renk Vejetasyon Kombinasyonu.....	21
3.2.2.2.3. Sahte Renk Kentsel Kombinasyonu	21
3.2.2.3. Pansharing İşlemleri	22
3.2.2.3.1. Temel Bileşen Analizi (PCA).....	22
3.2.3. Görüntü Sınıflandırma ve Görüntü Sınıflandırmada Kullanılan Yöntemler	22
3.2.3.1. Eğitimli Sınıflandırma	23
3.2.3.1.1. Maksimum Olabilirlik Yöntemi (Maximum Likelihood).....	23
3.2.3.1.2. Paralelkenar (Koşut Yüzlü) Yöntemi	24
3.2.3.1.3. En Kısa Uzaklık (En Az Uzaklık) Yöntemi.....	24
3.2.3.2. Eğitimsiz sınıflandırma.....	24
3.2.3.3. Melez sınıflandırma	25
3.2.3.4. Nesne Tabanlı Sınıflandırma	25
3.2.3.5. Sinir Ağı Sınıflandırma.....	25
3.2.3.6. Destek Vektör Makineleri Algoritması ile Sınıflandırma.....	26
3.2.4. Sınıflandırma Doğruluk Değerlendirmesi	27
3.2.4.1. Hata Matrisi	27

3.3.	Materyal	29
3.3.1.	Çalışma Alanı	29
3.3.2.	Çalışma Alanı için Kullanılan Uydu Görüntüleri	32
3.4.	Yöntem.....	34
3.4.1.	Uydu Görüntülerinin Ön İşlenmesi.....	35
4.	ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	36
4.1.	Uydu Görüntülerini Zenginleştirme.....	36
4.1.1.	Bant Kombinasyonları	36
4.1.2.	Temel Bileşen Analizi	38
4.2.	Sınıflandırma	40
4.2.1.	Doğal Renk Bant Kombinasyonuna Göre Sınıflandırma Sonuçları ve Değişim Analizleri.....	43
4.2.2.	Sahte Renk Kentsel Bant Kombinasyonuna Göre Sınıflandırma Sonuçları ve Değişim Analizleri	47
4.2.3.	Sahte Renk Vegetasyon Bant Kombinasyonuna Göre Sınıflandırma Sonuçları ve Değişim Analizleri.....	49
4.2.4.	Temel Bileşen Analizine Göre Sınıflandırma Sonuçları ve Değişim Analizleri.....	52
4.3.	Doğruluk Analizleri	54
4.3.1.	Doğal Renk Bant Kombinasyonu Doğruluk Analizi	55
4.3.2.	Sahte Renk Kentsel Bant Kombinasyonu Doğruluk Analizi.....	57
4.3.3.	Sahte Renk Vegetasyon Bant Kombinasyonu Doğruluk Analizi.....	58
4.3.4.	Temel Bileşen Analizi ile Sınıflandırma Doğruluk Analizi	60
5.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER	62
5.1.	Sonuçlar	62
5.2.	Öneriler	63
KAYNAKLAR	67	

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

λ : Dalga Boyu

Kısaltmalar

AÇA: Avrupa Çevre Ajansı

CBS: Coğrafi Bilgi Sistemleri

EYK: En Yakın Komşuluk

UA: Uzaktan Algılama

DVM: Destek Vektör Makineleri

STK: Sivil Toplum Kuruluşları

SVM: Support Vector Machine

PCA: Principal Component Analysis

KAF: Kuzey Anadolu Fay Zonu

TBA: Temel Bileşen Analizi

YSA: Yapay Sinir Ağları

1. GİRİŞ

Depremler, yalnızca fiziksel hasar oluşturmakla kalmayıp, uzun vadeli sosyal, ekonomik ve çevresel değişikliklere yol açan doğal afetler arasında yer alır (Kavak, 1998). Türkiye, jeolojik yapısı gereği aktif bir deprem kuşağında yer almakta olup, özellikle Marmara Bölgesi ve Batı Karadeniz bölümü bu riskin en yoğun yaşandığı alanlardan biridir. Bu durum, kentlerin arazi kullanım dinamiklerini doğrudan etkilemektedir. Deprem sonrası dönemlerde yerleşim alanlarının yeniden inşası, güvenli zemin arayışları, tarım ve orman alanlarının dönüşümü gibi mekânsal değişiklikler gözlemlenmektedir (Döker ve Gül, 2019). Düzce ili, 17 Ağustos ve 12 Kasım 1999 tarihlerinde yaşanan depremler sonucunda bu türden değişimlerin açık biçimde izlenebildiği bir örnek teşkil etmektedir. Deprem sonrasında kentsel alanlarda genişleme, tarım ve orman arazilerinde azalma, yeni yerleşim alanlarının oluşumu gibi dönüşümler dikkat çekmektedir. Ancak, bu değişimlerin 25 yıllık süreçteki seyri ve arazi kullanım yapılarındaki dönüşümün uzaktan algılama ile detaylı olarak incelendiği çalışmalar sınırlıdır (Önkol ve Menteşe, 2023). Bu durum, özellikle sürdürülebilir arazi yönetimi açısından problem oluşturmaktadır.

Bu bağlamda çalışmanın amacı, 1999–2024 yılları arasında Düzce ilinde meydana gelen arazi kullanım değişimlerini Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri teknikleriyle analiz etmektir. Bu kapsamda Earth Explorer üzerinden temin edilen Landsat 5 TM, Landsat 7 ETM+ ve Landsat 8 OLI uydu görüntüleri kullanılmıştır. 1999 yılı verileri, depremler öncesine dair referans niteliği taşımaktadır. 2009, 2019 ve 2024 yıllarına ait görüntüler ise deprem sonrası mekânsal değişimlerin karşılaştırılması amacıyla seçilmiştir. Görüntülere geometrik ve atmosferik düzeltmeler uygulanmış; doğal renk, sahte renk kentsel, sahte renk vejetasyon ve temel bileşen analizi (PCA) gibi görüntü iyileştirme tekniklerinden faydalanılmıştır (Butler, 2013; Richards ve Jia, 2006). Arazi kullanımını sınıflandırması, CORINE arazi örtüsü sınıflarına dayalı olarak yapay alanlar, su yapıları, tarım ve orman kategorilerinde gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma, Düzce’de deprem sonrası kentsel büyümenin tarım arazileri, ormanlık alanlar ve su yüzeyleri üzerindeki etkilerini ortaya koyarak hem literatüre katkı sağlamayı hem de sürdürülebilir mekânsal planlama için veri temelli çözüm önerileri sunmayı amaçlamaktadır.

Bu çalışma, Düzce’de tarihsel şehirleşmeyi anlamakta yardımcı olmaktadır. Afet kaynaklı arazi kullanımı değişimlerine ilişkin literatüre katkı sağlamanın yanı sıra, Düzce’de kentsel planlama ve arazi yönetimi politikalarına öneriler sunmayı amaçlamaktadır. Bulgular, deprem riski taşıyan yerlerde sürdürülebilir arazi yönetimi için yol göstericidir. Sonuç olarak, Düzce örneği doğal afetlerin ardından ortaya çıkan arazi kullanımındaki değişimlerin anlaşılması ve bu değişimlerin yönetilmesi açısından model sunmaktadır.



2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Ceylan ve Maktav (2012), yüksek çözünürlüklü IKONOS uydu görüntüleri üzerinde çeşitli ön işleme ve görüntü iyileştirme teknikleri uygulanarak kıyı çizgisi değişimlerini analiz etmişlerdir. Görüntülerde atmosferik etkiler düzeltilmiş, gürültü azaltma işlemleriyle daha net bir görünüm sağlanmıştır. Çözünürlük artırma amacıyla uygulanan yöntemlerle görüntü çözünürlüğü 1 metre seviyesine çıkarılmıştır. Görüntü keskinliğini artırmak için temel bileşen analizi, HPF ve çarpımsal (multiplicative) yöntemler karşılaştırılmış; en iyi sonucu veren yöntem olarak temel bileşen analizi tercih edilmiştir. Yarı otomatik doğrusal özellik çıkarımı tekniği kullanılarak kıyı çizgileri yüksek doğrulukla haritalanmış ve %99 oranında başarı elde edilmiştir. Elde edilen tematik haritalar üzerinden gerçekleştirilen analizler, zaman içinde hem kara alanlarının suya dönüşmesi hem de su yüzeylerinin kara ile yer değiştirmesi şeklinde çift yönlü değişimlerin yaşandığını ortaya koymuştur. Bu değişimlerin insan etkileri ve doğal süreçlerin ortak sonucu olduğu vurgulanmıştır.

Çölkesen ve diğ. (2015), yüksek çözünürlüklü WorldView-2 uydu görüntüleri ile çeşitli yardımcı verileri entegre ederek sınıflandırma başarısını artırmaya yönelik bir analiz gerçekleştirmiştir. Yüksek çözünürlüklü görüntüler, yer yüzeyine dair ayrıntılı bilgiler sunsa da benzer yansıma özelliklerine sahip heterojen piksel yapısı nedeniyle sınıflandırma sürecinde bazı zorluklar barındırmaktadır. Bu nedenle, spektral ayrımı artırmak amacıyla 12 farklı vejetasyon indeksi, temel bileşenler analizinden elde edilen ilk üç bileşen, gri-seviye ortaklık matrisiyle türetilen doku özellikleri ve ton-doymuluk-yoğunluk dönüşümünden elde edilen veriler, görüntü ile birleştirilerek yüksek boyutlu bir veri seti oluşturulmuştur. Bu yüksek boyutlu veri setinden sınıflandırma için en anlamlı bantların seçimi, özylenelemeli özellik seçimi yöntemine dayalı destek vektör makineleri algoritması ile gerçekleştirilmiştir. Özellik seçimi sonrasında elde edilen veri setleri, hem geleneksel en yakın komşuluk (EYK) yöntemi hem de DVM algoritması kullanılarak sınıflandırılmıştır. Sonuçlara göre, en yüksek genel doğruluk oranı %88,23 ile DVM algoritması ve 40 bant içeren veri setiyle elde edilmiştir. EYK yöntemi ise en yüksek başarıyı %83,74 ile, 20 bant içeren veri setiyle göstermiştir. McNemar testi sonuçları, iki algoritma arasındaki doğruluk farkının istatistiksel olarak anlamlı olduğunu ortaya koymuştur. Genel olarak, çalışmada uygulanan DVM-ÖÖE yaklaşımının veri boyutunu %60-80 oranında azaltarak sınıflandırma doğruluğunu %5'e kadar artırabileceği gösterilmiştir.

Aydın ve Durduran (2021), yürüttüğü çalışmada, 1985 ile 2018 yılları arasındaki arazi kullanım değişimleri incelenmiştir. Araştırmada Landsat TM uydu verileri kullanılarak, kontrollü sınıflandırma yöntemiyle beş farklı arazi örtüsü sınıfı oluşturulmuştur. Sınıflandırma sürecinde, en yüksek olasılığa dayalı (maksimum likelihood) algoritma tercih edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, 1985 yılına ait sınıflandırmanın doğruluk oranı %98, Kappa katsayısı ise 0,97 olarak belirlenmiştir. 2018 yılı verilerinde ise %97 doğruluk ve 0,95 Kappa değeri elde edilmiştir. Bu 34 yıllık süreçte, mera, yapay yüzeyler ve tarım alanlarında artış tespit edilirken; ormanlık alanlar ve sulak alanlarda azalma gözlemlenmiştir.

Önkola ve Menteşe (2023), tarafından yürütülen çalışmada, Pamukova bölgesindeki 38 yıllık arazi kullanım değişimi analiz edilmiştir. Bu kapsamda 1984 yılına ait Landsat TM ve 2022 yılına ait uydu verileri kullanılmıştır. Görüntü zenginleştirme amacıyla NDVI bant oranlama yöntemi uygulanmış ve arazi beş sınıfa ayrılmıştır: orman, tarım, yapay yüzeyler, su alanları ve seyrek bitki örtüsü. Sınıflandırma sürecinde maksimum benzerlik yöntemi tercih edilmiş; referans veriler Corine sınıflandırması ve Google Earth üzerinden desteklenmiştir. 1984 yılı görüntüsü için her sınıfa 100 referans noktası atanarak doğruluk değerlendirmesi yapılmış ve %92,17 genel doğruluk ile 0,91 Kappa katsayısı elde edilmiştir. 2022 yılına ait analizde ise genel doğruluk %94,62, Kappa değeri 0,94 olarak hesaplanmıştır. Sonuçlar, yapay alanlar, su yüzeyleri ve yarı doğal alanlarda artış yaşandığını; orman ve tarım alanlarında ise azalma olduğunu ortaya koymuştur.

Şahin Taysun ve Taysun (2021), tarafından gerçekleştirilen çalışmada, Akselendi Ovası'nda 1985–2016 yılları arasında gerçekleşen arazi kullanım değişimleri incelenmiştir. Bu doğrultuda, 1985 yılı için Landsat 5 TM, 2016 yılı için ise Göktürk-2 uydu görüntüleri kullanılmıştır. Her iki yılın verilerinde de havalimanı alanı maskeleyme yöntemiyle analiz dışı bırakılmış ve özellikle tarım alanlarından ayrıştırılmıştır. 1985 yılına ait görüntüler piksel tabanlı ve maksimum olasılık yöntemiyle sınıflandırılırken, 2016 yılı görüntüleri nesne tabanlı sınıflandırma tekniğiyle değerlendirilmiştir. Çalışmada arazi örtüsü; yapay alanlar, tarım alanları, orman ve yarı doğal alanlar, az veya hiç bitki örtüsü bulunmayan açık alanlar, kumluk alanlar, sulak alanlar ve su yüzeyleri olmak üzere altı sınıfa ayrılmıştır. Elde edilen bulgular, yapay yüzeyler ile tarım alanlarında artış yaşandığını; doğal ve yarı doğal alanlarda, ayrıca bitki örtüsü bulunmayan açıklıklar ve kumluk arazilerde ise azalma meydana geldiğini

göstermektedir. Özellikle kumluk alanlardaki kayda değer düşüş, tarım arazilerindeki artışın kaynağı olarak değerlendirilmektedir.

Sadık ve Sarılıymaz (2022) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, Alibeyköy Havzası'nda 2002, 2010 ve 2022 yıllarına ait arazi kullanım ve örtüsü değişimleri analiz edilmiştir. Araştırmada, 2002 ve 2010 yılları için Landsat-5 TM, 2022 yılı için ise Landsat-8 OLI uydu görüntüleri kullanılmıştır. CORINE sınıflandırma sisteminin birinci düzeyi temel alınarak dört ana arazi sınıfı belirlenmiştir: orman ve yarı doğal alanlar, yapay yüzeyler, tarım alanları ve su yüzeyleri. Sınıflandırma sonuçlarının güvenilirliğini değerlendirmek amacıyla hata matrisi kullanılarak doğruluk analizleri yapılmıştır. Buna göre; 2002 yılına ait görüntünün genel doğruluğu %89, kappa katsayısı 0,8178; 2010 yılına ait görüntünün doğruluğu %84, kappa değeri 0,7054; 2022 yılına ait görüntünün ise %92 doğruluk ve 0,8752 kappa katsayısına sahip olduğu belirlenmiştir. Çalışmanın bulguları, yapay alanlarda dikkate değer bir artış olduğunu, buna karşılık orman, yarı doğal ve tarım alanlarında azalma yaşandığını göstermektedir. Özellikle bu değişimin, 2018 yılında faaliyete geçen İstanbul Havalimanı'nın etkisiyle meydana geldiği düşünülmektedir. Ayrıca, yıllara göre arazi örtüsü değişimlerinin analizinde NDVI ve NDBI bant oranlama tekniklerinden de yararlanılmıştır.

Ulutürk ve Aydın (2023) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, Türkiye'nin önemli sulak alanlarından biri olan Ulubat Gölü'ndeki zamansal değişim, 1984, 1990, 2000, 2010 ve 2022 yıllarına ait uydu görüntüleri kullanılarak analiz edilmiştir. Landsat-5 TM verileri 1984–2010 yılları için, 2022 yılına ait görüntü ise Landsat-8 OLI uydusundan temin edilmiştir. Kontrollü sınıflandırma yöntemiyle gerçekleştirilen analizde, arazi örtüsü dört ana sınıfa ayrılmıştır: tarım alanları, orman ve diğer doğal alanlar, yerleşim yerleri ve su yüzeyleri. Sınıflandırma sonuçlarının doğruluğu hata matrisi ile değerlendirilmiş ve Kappa katsayısı kabul edilebilir düzeyde bulunmuştur. Çalışma sonuçları, Ulubat Gölü'nün en geniş su yüzeyine 1984 yılında sahip olduğunu, ancak 2022 yılı itibarıyla su yüzeyinin ciddi biçimde azaldığını ortaya koymaktadır. Bu azalışın temel nedenleri arasında göl çevresinde artan tarım ve hayvancılık faaliyetleri ile bu faaliyetlerin gölü besleyen su kaynaklarını tüketmesi gösterilmektedir. Ayrıca göl yakınında inşa edilen Çınarcık Barajı da göle ulaşan su miktarını azaltarak bu süreci hızlandıran unsurlardan biri olmuştur.

Türk Altun ve Şenol (2021) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, 1969 ile 2017 yılları arasındaki arazi kullanım değişimleri analiz edilmiştir. Bu kapsamda 1969 yılına ait hava fotoğrafı ve 2017 yılına ait Google Earth üzerinden elde edilen uydu görüntüsü

kullanılmıştır. Arazi kullanım sınıfları, CORINE sınıflandırma sistemine göre belirlenmiş ve Arcgis yazılımı aracılığıyla sınıflandırma işlemleri gerçekleştirilmiştir. Sınıflandırma doğruluğunu değerlendirmek amacıyla çalışma alanında 90 referans noktası tanımlanmış ve bu noktalarla görüntü verileri karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre kullanıcı doğruluğu %93 olarak hesaplanmıştır. Bu çalışmanın dikkat çeken yönlerinden biri, eski dönemlere ait uzaktan algılama analizlerinde hava fotoğraflarının güvenilir veri kaynağı olarak kullanılabilmesini göstermesidir. Analiz sonuçları, sulu tarım alanları ile sanayi ve ticaret birimleri ile sürekli kent dokusunun zamanla genişlediğini ortaya koyarken; seyrek ve yoğun ormanlık alanlarda belirgin bir azalma meydana geldiği gözlemlenmiştir. Bu durum, bölgedeki orman varlığının ciddi ölçüde tahrip edildiğini göstermektedir.

Mutlu ve diğ. (2020) tarafından yürütülen çalışmada, 1995, 2010 ve 2018 yıllarına ait Landsat-5 TM ve Landsat-8 OLI uydu görüntüleri kullanılarak su yüzey alanlarındaki değişim analiz edilmiştir. Araştırmada, NDWI, MNDWI ve NDWIGAO gibi bant oranlama yöntemlerinin güvenilirliği karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. İlk olarak, ISODATA algoritması ile kontrolsüz sınıflandırma yapılmış ve görüntüler kara ve su olmak üzere iki sınıfa ayrılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, 1995 yılından 2018 yılına kadar su yüzeyinde yaklaşık %69 oranında bir azalma meydana gelmiştir. Daha sonra her bir bant oranlama yöntemi için ayrı ayrı sınıflandırmalar yapılmış ve hata matrisi kullanılarak genel doğruluk ile Kappa katsayıları hesaplanmıştır. Sonuçlar, NDWI yöntemiyle su alanlarında %75 azalma, MNDWI yöntemiyle %66 azalma tespit edildiğini; buna karşılık NDWIGAO yöntemiyle ise %5 oranında artış gözlemlendiğini göstermektedir. Gerçek durumla en yüksek uyumu sağlayan ve en güvenilir sonuçları veren yöntem olarak ise MNDWI öne çıkmıştır.

Khan ve Jhariya (2016) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, 1999 ile 2016 yılları arasındaki arazi kullanım ve arazi örtüsü değişimleri analiz edilmiştir. Elde edilen bulgular, özellikle tarım ve yerleşim alanlarında dikkate değer değişimlerin yaşandığını ortaya koymaktadır. Tarım alanları 1999 yılında %56,8 oranındayken, 2016 yılında bu oran %37,9'a düşmüş ve yaklaşık %19,2'lik bir azalma gözlenmiştir. Buna karşılık yerleşim alanları aynı dönemde %27,5'ten %43,1'e yükselerek %15,6 oranında artış göstermiştir. Sanayi alanlarında ise %2,1'den %5,2'ye çıkışla %3,1'lik bir büyüme yaşanmıştır. Ayrıca gölet ve drenaj alanlarında da azalma meydana gelmiştir. Bu değişimler, artan kentleşme ve sanayileşme faaliyetleriyle ilişkilendirilmiş ve beraberinde toprak bozulması, su kaynaklarının azalması ile kentsel sel risklerinde artış gibi çevresel

sorunları gündeme getirmiştir. Tarım alanlarının yerleşim baskısı altında daralması hem ekolojik dengeyi hem de kırsal geçim kaynaklarını olumsuz yönde etkilemektedir.

Alqurashi ve Kumar (2014) tarafından yürütülen çalışmada, Suudi Arabistan'daki Mekke ve Taif şehirlerinde 1986–2013 yılları arasındaki arazi kullanım değişimleri incelenmiş ve bu değişimlerin kentsel büyüme dinamikleriyle olan ilişkisi analiz edilmiştir. Landsat uydu verilerinin kullanıldığı çalışmada, her iki şehirde de hızlı ve dikkate değer bir kentsel yayılma gözlemlenmiştir. Bu süreçte, Mekke'deki kentsel alanlar yaklaşık 17.574 hektar (%174 oranında), Taif'te ise 7.391 hektar (%113 oranında) genişlemiştir. Elde edilen bulgular, şehirlerin mekânsal büyüme desenlerinin birbirinden farklılık gösterdiğini ortaya koymuştur. Ayrıca, kentsel gelişimle birlikte ağaçlandırma çalışmalarının artması, genel bitki örtüsünde de olumlu yönde bir değişimi beraberinde getirmiştir. Arazi kullanım değişikliklerinin uydu görüntüleriyle birlikte nüfus verileri gibi destekleyici bilgilerle değerlendirilmesi, kentlerin sürdürülebilir gelişim politikalarının oluşturulmasında önemli katkılar sunmaktadır.

Rimal ve diğ. (2018), Kathmandu Vadisi ve çevresindeki kentlerde 1988–2016 yılları arasındaki kentsel büyüme dinamiklerini ve arazi kullanımındaki değişimleri analiz etmiştir. Çalışmada Landsat uydu görüntüleri kullanılmış ve sınıflandırma işlemleri destek vektör makineleri algoritması ile gerçekleştirilmiştir. Sınıflandırma sonuçlarında %85 ile %93 arasında değişen doğruluk değerlerine ulaşılmıştır. Elde edilen bulgular, kentsel alanlarda belirgin bir artış yaşandığını, orman alanlarının genişlediğini ve buna karşılık tarım arazilerinin azaldığını ortaya koymuştur. Kentsel yayılma özellikle vadinin batı kesiminde daha yoğun şekilde gözlemlenmiş ve bu durumun ulaşım altyapısının erişilebilirliği ile yakından ilişkili olduğu belirtilmiştir. Çalışmada, doğu bölgesinin planlı kentleşme açısından önemli bir potansiyele sahip olduğu vurgulanmış ve gelecekteki arazi kullanımında sürdürülebilirliğin sağlanabilmesi için daha etkili kentsel planlama politikalarının gerekliliği ifade edilmiştir.

Rahaman ve Shermin (2021), Bangladeş'in Khulna kentinde yerleşik alanların zamansal değişimini ortaya koymak amacıyla iki farklı yöntem kullanarak bir analiz gerçekleştirmiştir. Çalışmada, 1999, 2013 ve 2018 yıllarına ait Landsat-7 ve Landsat-8 uydu görüntüleri değerlendirilmiştir. İlk yöntemde NDVI ve NDBI indeksleri kullanılarak yerleşim alanları belirlenmiş; ikinci yöntemde ise NDWI, kısa dalga kızılötesi (SWIR) ve termal kızılötesi (TIRS) bantları ile analiz yapılmıştır. Elde edilen bulgular, 1999–2013 yılları arasındaki yerleşik alan artışının, 2013–2018 dönemine kıyasla daha yoğun olduğunu göstermiştir. Ayrıca, her iki yöntem karşılaştırıldığında

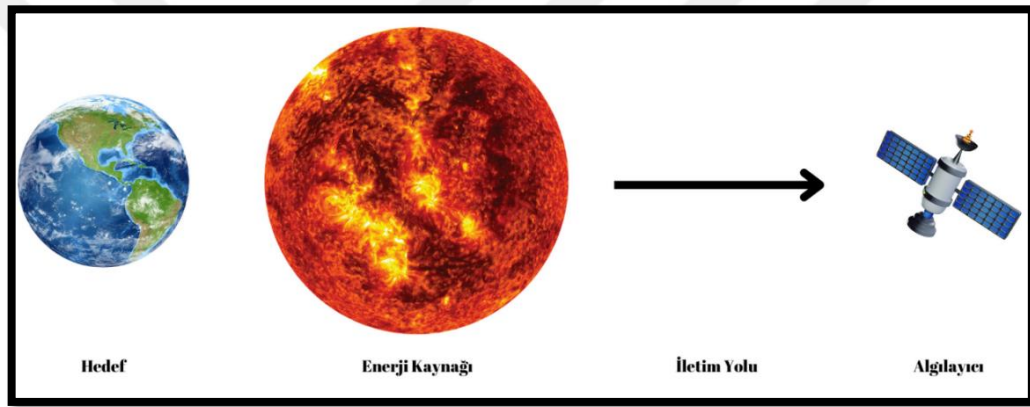
NDWI, SWIR ve TIRS kullanımının yerleşim alanlarının daha doğru bir şekilde belirlenmesinde etkili olabileceği sonucuna varılmıştır. Bu çalışma, farklı spektral bant ve indeks kombinasyonlarının mekânsal analizlerdeki katkısını vurgulaması açısından dikkat çekicidir.



3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Uzaktan Algılama

Uzaktan algılama nesnelere temas kurmadan, belirli bir nesnenin elektromanyetik radyasyon yayan veya yansıtan bir frekansta yaydığı elektromanyetik izi olarak belirli bir nesne hakkında bilgi almanın yollarından biridir. Bu teknoloji pek çok uygulamada yer yüzündeki değişiklikleri, nesnenin özelliklerini belirlemek için ve çevresel süreçleri değerlendirmek için kullanılır. Uzaktan algılama; hedef nesne yani yüzeydeki cisim, enerji kaynağı, enerjinin taşınımı ve algılayıcıdan oluşur (Kavak, 1998). Şekil 3.1’de bunlar arasındaki ilişki gözlenmektedir. Bilgilerin alınması, yayınlanması ve analiz edilmesi, bu bileşenler arasındaki ilişkiler sayesinde sistematik hale gelmektedir.



Şekil 3.1. Uzaktan algılama temel bileşenleri

Son dönemde, uzaktan algılama ve CBS’de gözlenen teknolojik ilerlemelerin arazi örtüsü ve arazi kullanımı türlerinin tespitinde büyük bir kolaylık sağlamaktadır. Örneğin, bu teknolojiler, temel verilerin kırsal alan analizleri veya çevresel planlama gibi kaynakları sürdürülebilir bir şekilde yönetmek için kullanılmaktadır (Sunar ve diğ., 2018).

Uzaktan algılama sistemleri pasif algılayıcılar ve aktif algılayıcılar olarak ikiye ayrılır:

i) Pasif Algılayıcı Sistemler

- Pasif sistem genellikle hedef yüzeyden yayılan ve sıçrayan elektromanyetik enerjiyi ölçerek veri alır.
- Gözlenen nesnenin doğal radyasyonunu algılar ve bu radyasyonla ilgili bilgi toplar.
- Güneşten gelen enerji kaynağına bağlıdır; doğrudan veya yüzeyden gelen kaynakları algılayabilir.

- Pasif algılayıcılar arasında mikrodalga radyometreler ve optik radyometreler en belirgin örneklerdir.
- Landsat, Modis, Goes, Terra vb. uydu platformları pasif algılayıcılar için iyi bilinen temsilleridir.

ii) Aktif Algılayıcı Sistemler

- Aktif algılayıcı sistem hedeflenmiş yüzeye kendi ürettiği enerjiyi enerji gönderir ve hedeften sıçrayan veriyi alır.
- Pasif algılayıcı sistemlere kıyasla, veri toplamak için bağımsız enerji kaynağına ihtiyaç duymadan gece ve gündüz veri toplarlar.
- Yayılan sinyalin geri dönüş süresi ve şiddeti ile hedefin fiziksel özelliklerini, konumunu, yüksekliğini bulabilir.
- Lidar (Light Detection and Ranging) ve Radar (Radio Detection and Ranging) en iyi bilinen örneklerdir.
- ICESat-2, TerraSAR-X, WorldView-3, vb. uydular aktif algılayıcılar için temsil sayılır.

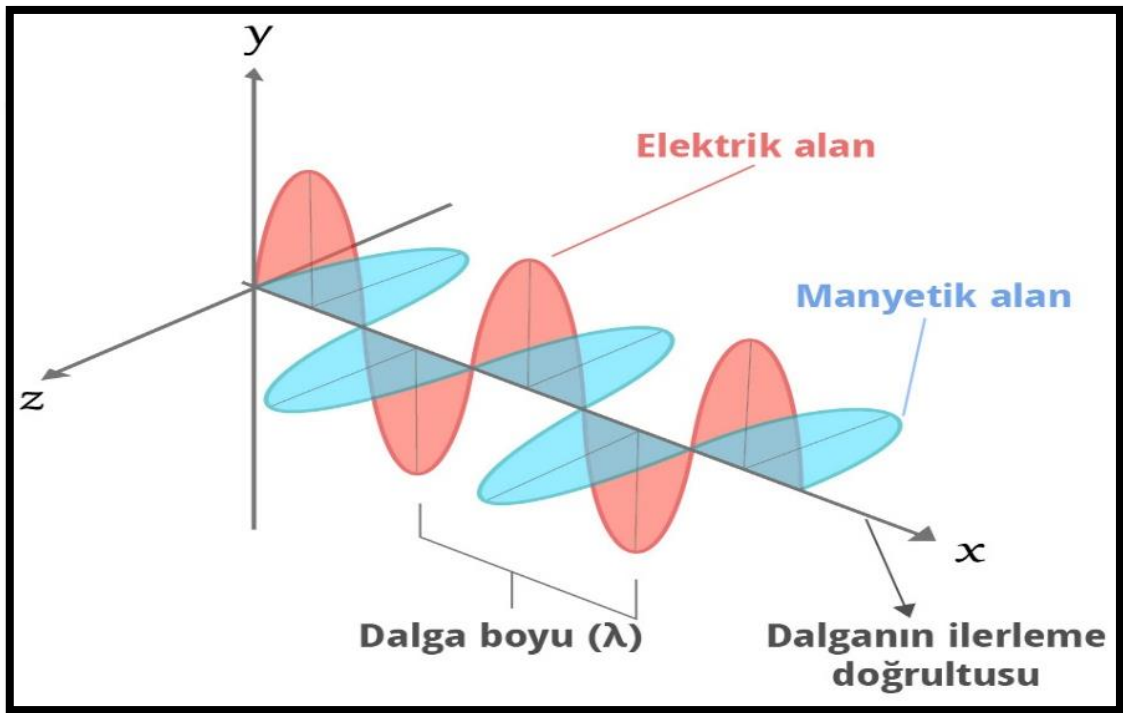
Çizelge 3.1 ile uzaktan algılama sistemlerinde kullanılan pasif ve aktif algılayıcıların temel özellikleri karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

Çizelge 3.1. Pasif ve Aktif Algılayıcıların Karşılaştırılması

Özellik	Pasif Algılayıcı Sistemler	Aktif Algılayıcı Sistemler
Enerji Kaynağı	Harici (genellikle güneş ışığı)	Sistem kendi enerjisini üretir (örneğin lazer, mikrodalga)
Çalışma Zamanı	Gündüz ve açık hava koşullarında	Gece ve gündüz, her türlü hava koşulunda
Veri Toplama Yöntemi	Doğal radyasyonun algılanması	Gönderilen sinyalin yansımalarının ölçülmesi
Örnek Teknolojiler	Görsel sensörler, termal kameralar, radyometreler	RADAR, LIDAR
Kullanılan Uydular	Landsat, MODIS, Sentinel-2, GOES	ICESat-2, TerraSAR-X, WorldView-3
Avantajları	Geniş alanları kapsayabilir, enerji maliyeti yoktur.	Bağımsız çalışır, yüksek hassasiyetle yüzey özelliklerini belirler.
Sınırlamaları	Güneş ışığına bağımlı, bulutluluk ve atmosfer etkilerine açıktır.	Daha karmaşık ve pahalı sistemlerdir.

3.1.1. Elektromanyetik Enerji ve Elektromanyetik Spektrum

Elektromanyetik enerji, elektromanyetik alanlar yardımıyla taşınan ve elektromanyetik olarak adlandırılan olaylarla ilişkilendirilen enerji cinsidir.(Kavak, 1998) Bu elektromanyetik alanın uzayda yayılmasıyla meydana gelmektedir. Bu dalgalar, yayılma doğrultusuna ve birbirine dik elektrik E ve manyetik M alanlarından oluşur. Elektromanyetik dalganın bilinmesi için dalga boyu (λ), frekans (ν), genlik (A) gibi parametreler kullanılmaktadır. Şekil 3.2 elektromanyetik enerjinin dalga karakterini vermektedir.

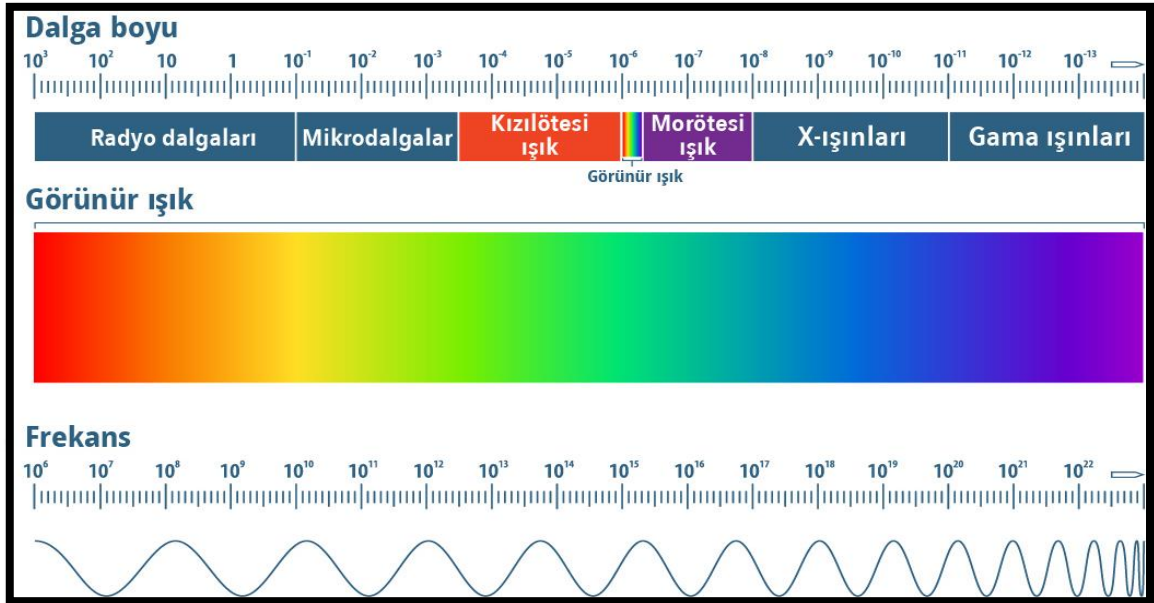


Şekil 3.2. Elektromanyetik enerjinin dalga karakteri

Enerji, frekansla doğru orantılı olarak dalgalanırken, dalga boyu ile ters orantılı olarak dalgalanır. Bu nedenle dalga boyu arttıkça enerji azalırken, frekans arttıkça da artacaktır (Sunar ve diğ., 2018).

Elektromanyetik spektrum, elektromanyetik dalgaların frekans ve enerji seviyeleri dikkate alınarak sınıflandırıldığı bir aralıktır. Şekil 3.3'te gösterilen bu spektrum, düşük frekanslı radyo dalgalarından çok yüksek enerjili gama ışınlarına kadar uzanan geniş bir yelpazeyi kapsar. Spektrumun farklı bölgeleri, sahip oldukları fiziksel özelliklere bağlı olarak çeşitli uygulama alanlarında kullanılmaktadır. Örneğin; radyo dalgaları iletişim teknolojilerinde, görünür ışık bölgesi optik algılamada, X ışınları ise

tıbbi görüntüleme ve malzeme incelemesinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Kavak, 1998).



Şekil 3.3. Elektromanyetik spektrum

3.1.2. Landsat Uydu Sistemleri ve Özellikleri

1967 yılında başlayan Earth Resources Technology Satellite misyonu, uzaktan algılamaya dair temel oluşturan ilk uydu programıdır. Bu program, Amerika Birleşik Devletleri İçişleri Bakanlığı ve NASA iş birliği ile kurulmuştur. Landsat-1'in fırlatılması ile başlayan süreç, günümüzde Landsat 8 ve Landsat 9 gibi daha ileri seviyedeki platformlardan oluşan bir dizi ile devam etmiştir. Landsat serisi uyduları tarafından sağlanan görüntüler, özellikle arazi örtüsü değişimi ve doğal kaynak kullanımı değişikliklerini tahmin etmek için uzun dönemli ve güvenilir veri sağlamada idealdir (Lillesand ve diğ., 2018).

1972 yılında Landsat-1 uydusunun fırlatılmasıyla uzaktan algılama sanayi dünyasında bir çağ açmıştır. Bu uydulardan sonra, Landsat-2'den başlayarak Landsat-7'ye kadar, farklı sensör ve çözünürlükteki değerlere sahip uydulardaki yeryüzü gözlemlerinden değerli sonuçlar elde edilmiştir. Ancak, arıza nedeniyle Landsat 6, yörüngeye ulaşamamış ve misyonunu yerine getirememiştir. Bu Landsat uyduları yeryüzündeki arazi örtüsü değişimlerini inceleme olanağı sunacak şekilde tasarlanmıştır. Bu uydular ve teknik özellikler Çizelge 3.2'de özetlenmiştir.

Çizelge 3.2. Landsat-1'den Landsat- 7'ye kadar olan görevler(Lillesand ve diğ., 2018)

<i>Uydu</i>	<i>Fırlatma Tarihi</i>	<i>Devreden Çıkarılma Tarihi</i>	<i>MSS Bantları</i>	<i>TM Bantları</i>
Landsat- 1	23 Temmuz 1972	6 Ocak 1978	4-7	Yok
Landsat- 2	22 Ocak1975	25 Şubat 1982	4-7	Yok
Landsat- 3	5 Mart1983	31 Mart 1983	4-8	Yok
Landsat- 4	16 Temmuz 1982	15 Haziran 2001	1-4	1-7
Landsat- 5	1 Mart1984	18 Kasım2011	1-4	1-7
Landsat- 6	5 Ekim 1993	Fırlatışta devre	Yok	1-7 ve pankromatik bant (ETM)
Landsat- 7	15 Nisan 1999	—	Yok	1-7 ve pankromatik bant (ETM+)

Landsat uyduları çeşitli görevler için 5 farklı algılayıcı eklenerek fırlatılmıştır. Bunlar; Dönüş Işını Vidikon (RBV), Çoklu Spektral Tarayıcı (MSS). Tematik Haritalayıcı (TM), Geliştirilmiş Tematik Haritalayıcı (ETM) ve Geliştirilmiş Tematik Haritalayıcı Plus (ETM+)’tır. RGB algılayıcıları, görüntüyü bir kapayıcı cihaz kullanarak çeken analog kameralardır. Bu kameralar, her görüntüyü kameranın odak düzlemindeki ışığa hassasiyetli bir yüzeye kaydeder. Bu kayıt işlemi, her bir kanal (kırmızı, yeşil ve mavi) için ayrı bir algılayıcı kullanarak televizyon benzeri bir sistemde gerçekleşir. MSS sistemleri uçuş yönüne dik, görüş alanı boyunca ileri geri doğu batı yönünde tarama yapan tarayıcılarıdır (Lillesand ve diğ., 2018).

TM sınıfı aygıtlar RBV ve MSS algılayıcılarına göre mekânsal ve spektral çözünürlük olarak daha yüksektir. Tematik spektral bantlar ve uygulama alanları Çizelge 3.3’te verilmiştir.

Çizelge 3.3. Tematik spektral bantlar ve uygulama alanları(Lillesand ve diğ., 2018)

Bant	Dalga Boyu	Tanımlı Spektral Konum	Temel Uygulamalar
1	0.45-0.52	Mavi	Su kütlesine nüfuz etmek için planlanmıştır. Kıyı haritalama, orman tipi haritalama vb. kullanılır.
2	0.52-0.60	Yeşil	Bitki örtüsü ayrımı ve bitki canlılığının değerlendirilmesi için planlanmıştır.
3	0.63-0.69	Kırmızı	Bitki örtüsü türlerinin ayırt edilmesi amacıyla klorofil soğurma bölgesini algılamak üzere tasarlanmıştır.
4	0.76-0.90	Yakın Kıızıl Ötesi	Bitki türleri, canlılığı ve biyokütle içeriği, toprak nemi, su kütlelerini tanımlamak için planlanmıştır.
5	1.55-1.75	Orta Kıızıl Ötesi	Bitki örtüsü nem içeriği ve toprak nemi ve bulutlardan kar ayrımı yapmak için kullanılır.
6	10.4-12.5	Isıl Kıızıl Ötesi	Isıl haritalar, toprak nem haritaları için kullanılır.
7	2.08-2.35	Orta Kıızıl Ötesi	Mineral ve kaya türlerinin ayrımı için uygundur.

Görüntülerin yorumlanması için çeşitli TM bant renk kombinasyonları tercih edilir. Burada mavi 1, yeşil 2, kırmızı 3 ile ifade edilir. 1,2 ve 3 bantlar normal renk birleşimi, 2,3,4 bantlar renkli kızıl ötesi birleşimi, 3,4,7 bantları ve 3,4,5 bantları kentsel özellikler bitki örtüsü türleri haritalama gibi uygulamalarda kullanılır. Landsat uydu görüntüleri, kıyı analizi, bitki örtüsü analizi, arazi yönetimi dahil olmak üzere analizi hedefleyen bir dizi amaçla kullanılmıştır. Bundan sonra işlenmiş veriler (deneysel, geçiş, ticari ve kamusal) farklı ve çeşitli amaçlardan geçerek ABD Jeolojik Araştırmalar Kurumu (USGS), 2008 yılından günümüze, Landsat verileri kullanıcılarına Yer Kaynakları Gözlem ve Bilim Merkezi (EROS) yoluyla Landsat verilerini ücretsiz olarak yayınlamıştır (Lillesand ve diğ., 2018).

Landsat-8; 11 Şubat 2013 yılında fırlatılmıştır. NASA VE USGS bu sistemde ortak olarak çalışmışlardır. NASA uzay aracı, algılayıcı geliştirme, uzay aracı fırlatma,

sistem mühendisliği, fırlatma öncesi ayarları gibi uzay kısmı ayarlarından sorumlu iken USGS yer sisteminin geliştirilmesi, kontrol sayısının tamamlanması, fırlatma sonrası iş ve işlemleri, verilerin toplanması ve arşivlenmesi görevlerinden sorumlu olmuştur.

Landsat-8, 2 sensöre sahiptir. Bunlar; İşlevsel Kara Görüntüleyici (OLI) ve Isıl Kızıl Ötesi Algılayıcı (TIRS)'tır. Landsat-8'e ait spektral bant ve özellikleri Çizelge 3.4'teki gibidir.

Çizelge 3.4. Landsat-8 Spektral Bant ve özellikleri (Lillesand ve diğ., 2018)

<i>Bant</i>	<i>Tanımlı Spektral Konum</i>	<i>Mekânsal Çözünürlük(m)</i>	<i>Sensör</i>
1	Kıyısal/Aerosol	30	OLI
2	Mavi	30	OLI
3	Yeşil	30	OLI
4	Kırmızı	30	OLI
5	Yakın kızıl ötesi	30	OLI
6	Kısa dalga kızıl ötesi 1	30	OLI
7	Kısa dalga kızıl ötesi 2	30	OLI
8	Pankromatik	15	OLI
9	Sirrus	30	OLI
10	Isıl kızıl ötesi 1	100	TIRS
11	Isıl kızıl ötesi 2	100	TIRS

3.2. Uzaktan Algılamada Sayısal Görüntü Çözümleme

Sayısal görüntü çözümleme; bilgisayarlar vasıtasıyla dijital ortama aktarılan görüntülerin işlenmesi olarak tanımlanabilir. Parlaklık veya kontrast ayarlarını düzenlemek için bir fotoğraf düzenleyicisi kullanmaktan çok bantlı uydu görüntülerini analiz etmeye kadar birçok şey içerir. Görüntü analizi; bu işlenen verilerin iyileştirilmesi, hataların alınması, görselleştirmeye hazırlanmasını hedef edinir. 1960'lı yıllarda çok bantlı görüntüler ile uğraşılırken zamanla bu sistemin temel parçası haline gelmiştir.

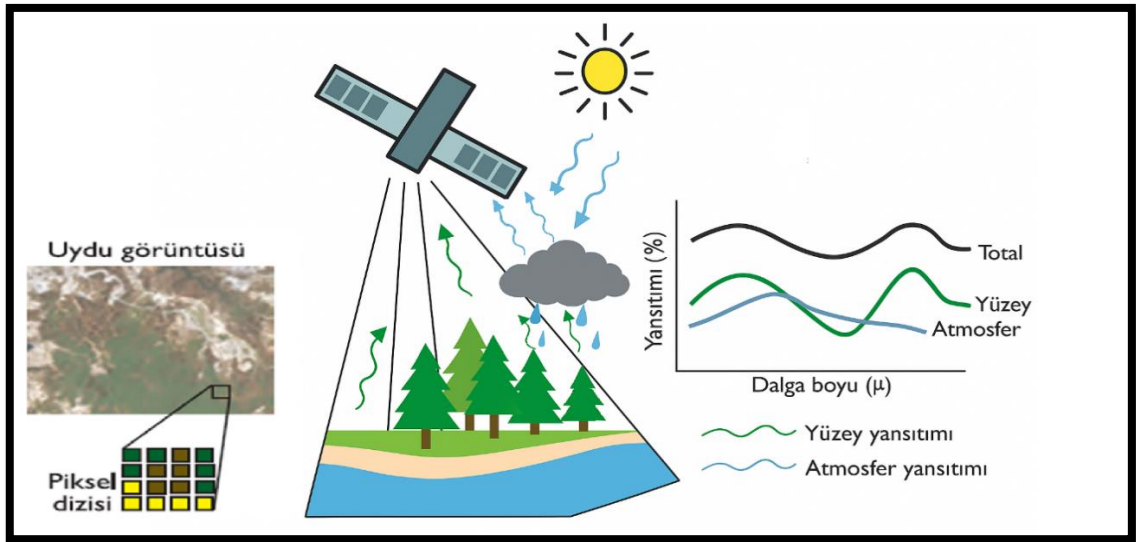
3.2.1. Görüntülerin Ön İşlenmesi

Sayısal görüntüler analiz edilmeden önce, ham veriler üzerinde belirli ön işlemler uygulanır. Bu işlemler hem görüntüdeki teknik hataların giderilmesi hem de analiz

kalitesinin artırılması amacıyla yapılır. Ön işleme süreci, sensör kaynaklı bozulmaların düzeltilmesini veya görüntü kalitesinin iyileştirilmesini hedefler. Uygulanan temel işlemler arasında radyometrik, geometrik ve atmosferik düzeltmelerin yanı sıra; gürültü giderme, mozaikleme ve görüntü kırpma gibi adımlar yer alır. Bu işlemlerden biri ya da birkaçı, kullanıcının ihtiyacına ve görüntünün özelliklerine göre tercih edilir (Lillesand ve diğ., 2018).

3.2.1.1. Radyometrik Düzeltme

Radyometrik düzeltme, uydu görüntülerinde sensör kaynaklı bozulmaların, atmosferik etkilerin ve aydınlatma koşullarındaki farklılıkların giderilmesini amaçlayan temel bir ön işleme aşamasıdır. Bu işlem, görüntüdeki ışınım değerlerinin daha güvenilir hâle gelmesini sağlamakla birlikte, farklı zamanlarda veya farklı algılayıcılarla elde edilen verilerin karşılaştırılabilirliğini de artırır. Veriler, bu düzeltmeyle birlikte mutlak yansıtma ya da ışınım birimlerine dönüştürülür. Özellikle optik sistemlerde, Güneş ve algılayıcı geometrisinin etkisi dikkate alınarak düzeltme yapılır. Örneğin, Landsat-5 TM ve Landsat-8 OLI gibi farklı sensörlerden elde edilen görüntüler arasındaki radyometrik farklılıkların giderilmesi bu işlemin temel uygulama alanlarından biridir. Atmosferik etkilerin uydu görüntüsüne olan katkısı ise Şekil 3.4'te görsel olarak sunulmuştur.



Şekil 3.4. Atmosferin uydu görüntüsüne etkisi(Sunar ve diğ., 2018)

Radyometrik düzeltme, görüntülerde aydınlatma koşullarının homojenleştirilmesi ve farklı zamanlarda elde edilen verilerin karşılaştırılabilirliğinin sağlanması açısından kritik bir adımdır. Bu işlem özellikle, farklı tarihlerde veya mevsimsel koşullarda elde

edilen uydu verilerinin analiz edilmesi ve birlikte değerlendirilmesi gerektiğinde önem kazanır. Örneğin, Şekil 3.5'te yer alan Landsat TM görüntülerinde, aynı bölgeye ait iki farklı tarihli kayıt (Şubat 1983 ve Haziran 1984) radyometrik farklar göstermektedir. Bu farkların giderilmesi, anlamlı ve güvenilir analiz sonuçlarına ulaşabilmek için gereklidir.



Şekil 3.5. Atmosferin farklı tarihlerde görüntüye etkisi (Sunar ve diğ., 2018)

3.2.1.2. Geometrik Düzeltme

Geometrik düzeltme, uydu görüntülerinin orijinal resim koordinat sisteminden çıkarılarak, belirli bir coğrafi referans sistemine veya harita projeksiyonuna göre yeniden konumlandırılması işlemidir. Bu işlem sayesinde görüntüdeki her piksel, gerçek dünya

koordinatlarıyla eşleştirilir ve harita tabanlı analizlerde doğru konumsal bilgi sağlar (Çorumluoğlu, 2002).

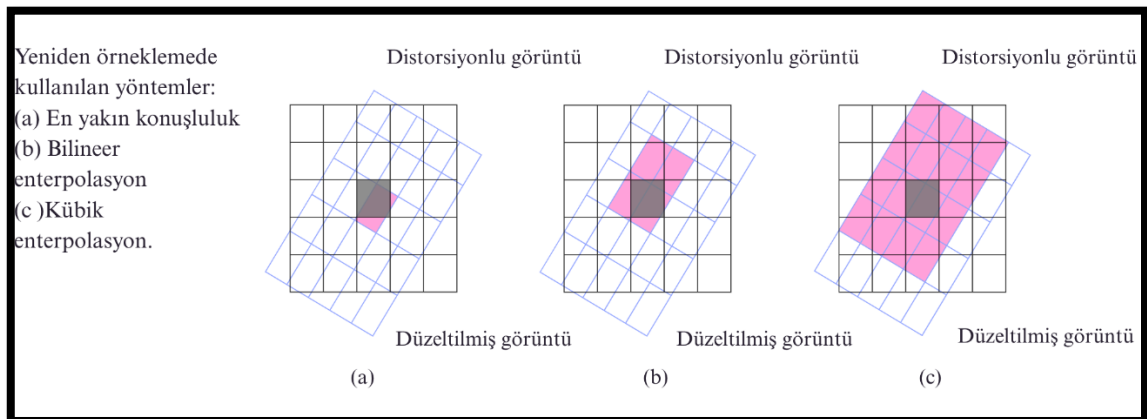
Uydu görüntülerinde geometrik bozulmalar; algılayıcıların tarama kapasitesi, geniş bakış alanı, Dünya'nın dönüşü, yeryüzü şekilleri, uydu platformunun hareket özellikleri ve görüntüleme geometrisi gibi çeşitli faktörlerden kaynaklanır. Bu tür distorsiyonlar, görüntünün gerçek dünya konumuyla örtüşmemesine neden olur. Bozulmaların giderilmesi, bu etkilerin matematiksel olarak modellenmesi ve görüntü pikselleri ile arazi üzerindeki karşılıklarının eşleştirilmesi yoluyla gerçekleştirilir. Bu süreçte genellikle haritalardan veya yer kontrol noktalarından yararlanılarak doğru konumsal düzeltme sağlanır (Sunar ve diğ., 2018).

3.2.1.3. Yeniden Örnekleme

Geometrik düzeltme sürecinde, görüntüdeki konumsal bozulmalar giderildikten sonra, her piksele karşılık gelen yeni değerlerin belirlenmesi gerekir. Bu işlem yeniden örnekleme (resampling) olarak adlandırılır. Yeniden örnekleme, bozulmuş orijinal piksellerden, düzeltme sonrası oluşan yeni piksel konumlarına uygun değerlerin atanmasını sağlar. En yaygın kullanılan üç yöntem şunlardır:

- En Yakın Komşuluk (Nearest Neighbor)
- Bilineer Enterpolasyon (Bilinear Interpolation)
- Kübik Enterpolasyon (Cubic Convolution)

Bu tekniklerin her biri, görüntü kalitesi ve hesaplama süresi açısından farklı avantajlara sahiptir. Şekil 3.6'da bu yöntemlere ait örnekler görsel olarak sunulmuştur (Çorumluoğlu, 2002).



Şekil 3.6. Yeniden örnekleme kullanılan yöntemler(Sunar ve diğ., 2018)

3.2.2. Görüntü Zenginleştirme ve Yöntemleri

Elde edilen görüntündeki özelliklerin daha kolay ve anlaşılır şekilde yorumlanabilmesi için yapılan işlemlerdir. Çizelge 3.5'te sayısal görüntü zenginleştirme sürecinde yaygın olarak kullanılan yöntemler, alt teknikleri ve kullanım amaçları özetlenmiştir. Bu işlemler, görüntü kalitesinin artırılması, yapısal detayların belirginleştirilmesi ve tematik analizlerin desteklenmesi açısından önemli katkılar sağlar.

Çizelge 3.5. Görüntü zenginleştirme teknikleri(Lillesand ve diğ., 2018)

Zenginleştirme Yöntemi	Alt Teknikler	Amaç
Karşıtlık İşlemleri	Gri seviye eşikleme, Seviye dilimleme, Karşıtlık gerdirme	Görüntüde ton farklarını vurgulamak ve kontrastı artırmak
Mekânsal Özellik İşlemleri	Mekânsal süzgeçleme, Kenar belirginleştirme, Fourier analizi	Görüntüdeki yapısal detayları ortaya çıkarmak
Çoklu Görüntü İşlemleri	Bant indeksleme (NDVI, NDBI vb), Bant kombinasyonları(False color vb)	Tematik analiz ve zamansal karşılaştırma yapmak

3.2.2.1. Bant İndeksleri

Uydu görüntülerini oluşturan bantlar, elektromanyetik spektrumun farklı bölgelerine karşılık gelir. Bu bantlar üzerinde yapılan aritmetik işlemler sayesinde, belirli yüzey özelliklerini ya da nesne türlerini daha belirgin hâle getiren yeni görüntüler üretilebilir. Bu tür işlemler, özellikle tematik analizlerde ve nesne ayırımında görüntü yorumunu güçlendirmek amacıyla kullanılmaktadır(Çağlayan ve diğ., 2020).

3.2.2.1.1. NDVI (Vejetasyon İndeksi)

Vejetasyon indeksleri, bitki örtüsünün durumu ve gelişim seviyesi hakkında bilgi edinmek amacıyla kullanılan matematiksel göstergelerdir. Bu indeksler, bitkilerin yeşillik oranı, fotosentetik aktivitesi ve çevresel stres düzeyleri gibi özelliklerini değerlendirmeye yardımcı olur. Özellikle tarım alanlarının takibinde ve çevresel değişimlerin izlenmesinde önemli bir rol oynarlar.

En yaygın kullanılan indekslerden biri olan NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), -1 ile +1 arasında değer alır. NDVI değeri, yoğun ve sağlıklı bitki

örtüsünde +1'e yaklaşırken, su, kar ya da çıplak toprak gibi alanlarda daha düşük veya negatif değerlere ulaşır. Bu özelliği sayesinde NDVI, bitki yoğunluğu ve sağlığı üzerine kapsamlı değerlendirmeler yapılmasına olanak sağlar (Çatal Reis ve Yılcı, 2020).

$$NDVI = (\text{Yakın Kıızıl Ötesi} - \text{Kırmızı}) / (\text{Yakın Kıızıl Ötesi} + \text{Kırmızı})$$

$$NDVI = (\text{NIR} - \text{RED}) / (\text{NIR} + \text{RED})$$

3.2.2.1.2. NDBI (Normalize Edilmiş Yerleşim Yeri İndeksi)

NDBI, kentsel alanlardaki yerleşim yoğunluğunu belirlemek amacıyla geliştirilen bir uzaktan algılama göstergesidir. Değerleri -1 ile +1 arasında değişmekte olup, pozitif değerlere yaklaştıkça şehirleşmenin arttığı, negatif değerlere yaklaştıkça ise azaldığı anlaşılır. Bu indeks, uydu görüntülerinden otomatik olarak hesaplanabilir. NDBI, özellikle kentsel bölgelerdeki spektral yansıma farklarına dayalı olarak orta kızılötesi ve yakın kızılötesi bantlar arasındaki oranla elde edilir. Şehirleşme düzeyinin izlenmesi, mekânsal planlama, çevresel değerlendirme ve afet yönetimi gibi birçok alanda önemli katkılar sağlar (Karaman ve diğ., 2022).

$$NDBI = (\text{Orta Kıızıl Ötesi} - \text{Yakın Kıızıl Ötesi}) / (\text{Orta Kıızıl Ötesi} + \text{Yakın Kıızıl Ötesi})$$

$$NDBI = (\text{SWIR} - \text{NIR}) / (\text{SWIR} + \text{NIR})$$

3.2.2.1.3. SAVI (Toprak Ayarlı Bitki Örtüsü İndeksi)

Bitki örtüsünün seyrek veya zayıf olduğu bölgelerde, yansımanın büyük kısmı toprak yüzeyinden geldiği için toprak arka plan etkisi belirginleşir. Bu durumu dengelemek amacıyla bazı vejetasyon indekslerinde düzeltme katsayısı olarak L değeri kullanılır. Genellikle 0 ile 1 arasında tanımlanan bu katsayı, toprak etkisini azaltmak ve hesaplamalarda denge sağlamak için formüle dâhil edilir. Uygulamalarda L = 0.5 değeri yaygın olarak tercih edilmektedir (Lillesand ve diğ., 2018).

$$SAVI = (\text{Yakın Kıızıl Ötesi} - \text{Kırmızı}) / (\text{Yakın Kıızıl Ötesi} + \text{Kırmızı} + L) * (1+L)$$

$$SAVI = (\text{NIR} - \text{RED}) / (\text{NIR} + \text{RED} + L) * (1+L)$$

3.2.2.2. Bant Kombinasyonları

Farklı Landsat sensörleri için en çok tercih edilen bant kombinasyonlarını ve bu kombinasyonların hangi tematik analizlerde kullanıldığı Çizelge 3.6'da özetlemektedir.

Çizelge 3.6. Landsat bant kombinasyonları

<i>Görüntü Türü</i>	<i>Landsat 5 TM (RGB)</i>	<i>Landsat 7 ETM+ (RGB)</i>	<i>Landsat 8 OLI (RGB)</i>	<i>Açıklama</i>
Doğal Renk	3-2-1	3-2-1	4-3-2	Gerçek renkli görüntü sağlar; yeryüzü insan gözünün gördüğü gibi temsil edilir. Bitki örtüsü yeşil, su mavi, şehirler gri tonlarında görünür.
Sahte Renk Vejetasyon	5-4-3	5-4-3	6-5-4	Bitki sağlığını değerlendirmede kullanılır. Sağlıklı bitkiler kırmızı tonlarında, şehirler gri, su koyu mavi/siyah görünür.
Sahte Renk Kentsel	7-5-3	7-5-3	7-6-4	Kentsel alanları öne çıkarır. Yerleşim yerleri açık gri/mor, bitki örtüsü yeşil, su koyu mavi görünür.

3.2.2.2.1. Doğal Renk Bant Kombinasyonu

Doğal renk kombinasyonu, Landsat 8 uydusunda kırmızı, yeşil ve mavi bantların kullanılmasıyla oluşturulur. Bu bantlar RGB renk kanallarına atanarak, yeryüzü insan gözünün algıladığı doğal renklerle temsil edilir. Bitki örtüsü yeşil, su koyu mavi veya siyah, yerleşim alanları ise gri tonlarda görünür. Bu özellikleri nedeniyle, görsel yorumlamalarda ve arazi örtüsü sınıflandırmalarında sıkça tercih edilir (Butler, 2020).

3.2.2.2.2. Sahte Renk Vejetasyon Kombinasyonu

Bu kombinasyon, Landsat 8 verisinde yakın kızılötesi, kırmızı ve yeşil bantların RGB renk kanallarına atanmasıyla elde edilir. Sağlıklı ve yoğun bitki örtüsü kırmızı tonlarında, şehir alanları gri, su yüzeyleri ise koyu renklerde görünür. Bitki yoğunluğu, sağlık durumu ve tarımsal üretim alanlarının analizinde yaygın olarak kullanılan etkili bir bant kombinasyonudur (Butler, 2020).

3.2.2.2.3. Sahte Renk Kentsel Kombinasyonu

Kentsel alanların vurgulanmasında kullanılan bu kombinasyon, kısa dalga kızılötesi, orta kızılötesi ve kırmızı bantlardan oluşturulur. Yerleşim bölgeleri mor,

lavanta ya da açık gri tonlarda görünürken; bitki örtüsü yeşil, su alanları ise koyu tonlarda temsil edilir. Bu yapı sayesinde şehirleşme düzeyinin belirlenmesi, yapı yoğunluğu analizi ve afet sonrası değişim izleme gibi uygulamalarda etkili sonuçlar elde edilir (Butler, 2020).

3.2.2.3. Pansharping İşlemleri

Uzaktan algılama uygulamalarında farklı algılayıcılardan elde edilen verilerin bir araya getirilmesi, analizlerin kapsamını ve doğruluğunu artırır. Bu entegrasyon süreci, farklı çözünürlükteki görüntülerin dijital yöntemlerle birleştirilmesiyle gerçekleştirilir. Özellikle merge (birleştirme) işlemi, sınıflandırma doğruluğunu yükseltmek amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır.

Görüntü netliğini artırmak için uygulanan pansharping teknikleri, düşük çözünürlüklü çok bantlı veriler ile yüksek çözünürlüklü pankromatik görüntülerin birleştirilmesini sağlar. Bu yöntemler arasında IHS (Renk Yoğunluk Dönüşümü), temel bileşen analizi, Dalgacık Dönüşümü ve Brovey Dönüşümü öne çıkar. Bu tekniklerin uygulanması, görsel detayları daha net hâle getirerek mekânsal çözünürlüğü artırmakta ve analiz doğruluğuna katkı sağlamaktadır (Kandil ve Gonca Coşkun, 2016).

3.2.2.3.1. Temel Bileşen Analizi (PCA)

Temel bileşenler analizi, yüksek boyutlu veri kümelerinde yer alan gereksiz veya tekrarlayan bilgileri azaltarak, verinin daha yalın ve anlamlı biçimde analiz edilmesini sağlayan bir yöntemdir. Temel bileşen analizi, veri setindeki en yüksek varyansa sahip bileşenleri seçerek boyutsal indirgeme gerçekleştirir. Bu sayede hem veriler arasındaki benzerlik ve farklılıklar daha net ortaya konur hem de analiz süreci sadeleştirilir. Uzaktan algılama ve görüntü işleme alanlarında temel bileşen analizi; görüntü zenginleştirme, boyutsal indirgeme, imge sıkıştırma ve görüntü birleştirme gibi işlemlerde sıkça kullanılmaktadır. Bu yöntem, verilerin en anlamlı yönlerini temsil eden bileşenleri ön plana çıkararak, analiz doğruluğunu artırır ve işlem sürecini optimize eder (Kandil ve Gonca Coşkun, 2016; Firat ve Hanbay, 2022).

3.2.3. Görüntü Sınıflandırma ve Görüntü Sınıflandırmada Kullanılan Yöntemler

Sınıflandırma, dijital görüntülerdeki piksellerin, spektral özelliklerine göre belirli sınıflara ayrılması sürecidir. Bu işlemde, her pikselin yansıtma değerleri dikkate alınarak,

benzer özellik gösteren alanlar aynı tematik kategoriye dâhil edilir. Sınıflandırmanın temel amacı, görüntü üzerindeki nesnelerin temsil ettikleri arazi kullanım türlerine göre gruplandırılması ve bu sayede bölgesel analizlerin gerçekleştirilmesidir (Aydın ve Durduran, 2021).

Uzaktan algılama çalışmalarında, arazi örtüsü ve kullanım değişimlerinin analizinde sınıflandırma süreci kritik bir rol oynar. Bu aşamada elde edilen veriler, Coğrafi Bilgi Sistemleri için temel bilgi kaynağı niteliğindedir. Sınıflandırma işlemi sırasında görüntünün mekânsal yapısı ve spektral değerleri esas alınır. Spektral tabanlı sınıflandırmalarda, her pikselin belirli bantlardaki yansıma değerleri kullanılarak nesnelere tanımlanır. Mekânsal tabanlı sınıflandırma ise, piksellerin sadece spektral değil; aynı zamanda konumsal ilişkileri, geometrik yapısı ve doku özellikleri gibi ek faktörler dikkate alınarak gerçekleştirilir.

3.2.3.1. Eğitilmiş Sınıflandırma

Kontrollü sınıflandırma, önceden belirlenmiş örnek alanların (eğitim verileri) kullanıldığı bir yöntemdir. Bu alanlar, analiz edilen sınıfları temsil eden bölgeler olarak seçilir ve her biri için karakteristik spektral imzalar tanımlanır. Bu imzalar doğrultusunda, görüntüdeki diğer pikseller ilgili sınıflara atanır. Sıklıkla kullanılan algoritmalar arasında Maksimum Olabilirlik, Paralelkenar ve En Kısa Uzaklık yöntemleri yer alır. Seçilecek algoritma, veri yapısına ve uygulama amacına göre belirlenerek sınıflandırma doğruluğunun artırılmasına katkı sağlar (Aydın ve Durduran, 2021).

3.2.3.1.1. Maksimum Olabilirlik Yöntemi (Maximum Likelihood)

Maksimum Olabilirlik sınıflandırması, uydu görüntülerinin kontrollü olarak analiz edilmesinde yaygın şekilde kullanılan istatistik temelli bir yaklaşımdır. Bu yöntemde, her pikselin ait olduğu sınıf, ortalama, varyans ve kovaryans gibi istatistiksel parametrelere göre değerlendirilir. Pikseller, en yüksek olasılıkla ait oldukları sınıfa atanır. Yöntem, verilerin normal dağılım gösterdiği varsayımı üzerine kuruludur. Ancak bazı durumlarda, örneğin spektral benzerliklerin fazla olduğu alanlarda ya da görüntü kalitesini etkileyen atmosferik bozulmalarda, sınıflandırma belirsizleşebilir. Bu gibi durumlarda eşik değerlerin altında kalan pikseller belirsiz sınıf olarak ayrılır. Topografya, sensör çözünürlüğü ve atmosferik etkiler gibi faktörler bu tür belirsizliklere neden olabilir. (Şahin Taysun ve Taysun, 2021) En yüksek olasılık yöntemi, sınıflandırma

işlemlerinde istatistiksel verileri etkin biçimde kullanarak, farklı spektral karakteristiklere sahip nesnelerin birbirinden ayrılmasını yüksek doğrulukla gerçekleştiren güçlü bir algoritmadır (Önkol ve Menteşe, 2023).

3.2.3.1.2. Paralelkenar (Koşut Yüzlü) Yöntemi

Paralelkenar yöntemi, eğitim verilerine dayalı olarak sınıflandırma gerçekleştiren temel yöntemlerden biridir. Bu yöntemde, her sınıf için özellik uzayında minimum ve maksimum değerler veya ortalama ile standart sapmaya dayalı aralıklar tanımlanır. Tanımlanan bu sınırlar, uzayda hiper paralelkenar bölgeler oluşturur. Her piksel, bu bölgelerden birine düşmesi durumunda ilgili sınıfa atanır; ancak tanımlı sınıf aralıklarının dışında kalan pikseller sınıflandırılmaz. Yöntem, hızlı ve hesaplama açısından avantajlıdır ancak sınıf aralıkları çakıştığında veya sınırlar dışında kalan pikseller olduğunda sınırlı performans gösterebilir (Çorumluoğlu, 2002).

3.2.3.1.3. En Kısa Uzaklık (En Az Uzaklık) Yöntemi

En kısa uzaklık yöntemi, özellikle sınırlı sayıda eğitim verisinin bulunduğu basit sınıflandırma senaryolarında tercih edilir. Her sınıf için bantlardaki spektral ortalama değerler belirlenerek sınıf merkezleri (vektörler) oluşturulur. Bilinmeyen bir pikselin, bu merkezlere olan en kısa uzaklığı hesaplanır ve piksel, en yakın sınıfa atanır. Yöntem hızlı ve sade olmasıyla öne çıksa da sınıflar arası varyansın göz önüne alınmaması durumunda doğruluk düşebilir (Çorumluoğlu, 2002).

3.2.3.2. Eğitimsiz sınıflandırma

Kontrolsüz sınıflandırma, önceden tanımlanmış örnek alanlar kullanılmaksızın, görüntüdeki benzer piksel değerlerine göre gruplandırma yapılan bir yöntemdir. Bu süreçte, pikseller doğal benzerliklerine göre kümelenir ve her grup potansiyel bir sınıfı temsil eder. Ancak, oluşan sınıfların hangi arazi örtüsünü temsil ettiği başta bilinmez; bu nedenle sınıf tanımlamaları genellikle hava fotoğrafları veya mevcut haritalar yardımıyla yapılır. Bu yöntemin temelinde K-ortalamlar algoritması yer alırken, bu yapıyı geliştiren ve en yaygın kullanılan tekniklerden biri ISODATA algoritmasıdır (Sunar ve diğ., 2018).

3.2.3.3. Melez sınıflandırma

Melez sınıflandırma, kontrollü ve kontrolsüz yöntemlerin avantajlarını birleştirerek sınıflandırma doğruluğunu artırmayı amaçlayan bir yaklaşımdır. Bu yöntemde, öncelikle kontrolsüz sınıflandırma ile görüntüdeki doğal kümeler belirlenir. Elde edilen bu gruplar, daha sonra kontrollü sınıflandırma için eğitim alanı seçiminde rehber olarak kullanılır. Böylece, kontrolsüz sınıflandırmadan elde edilen ön bilgilerle daha yönlendirilmiş ve etkili bir kontrollü sınıflandırma süreci yürütülür (Sunar ve diğ., 2018).

3.2.3.4. Nesne Tabanlı Sınıflandırma

Nesne tabanlı sınıflandırma hem spektral bilgiler hem de mekânsal özelliklerin birlikte değerlendirildiği ileri düzey bir analiz yöntemidir. Bu yaklaşımda yalnızca piksel bazlı yansıma değerleri değil, aynı zamanda piksellerin çevresel ilişkileri, şekil yapıları, dokusal özellikleri ve bağlamsal konumları da dikkate alınır. Bu sayede, klasik piksel tabanlı sınıflandırmalarda ayırt edilmesi güç olan; ancak farklı yapısal özellikler taşıyan nesnelere (örneğin yol, bina, park alanı gibi) daha doğru biçimde sınıflandırılabilir. Ayrıca, nesne tabanlı yöntemler bulanık mantık gibi esnek karar sistemlerini entegre ederek, sınırları net olmayan veya belirsizlik içeren sınıfların daha etkili biçimde temsil edilmesini sağlar (Sunar ve diğ., 2018).

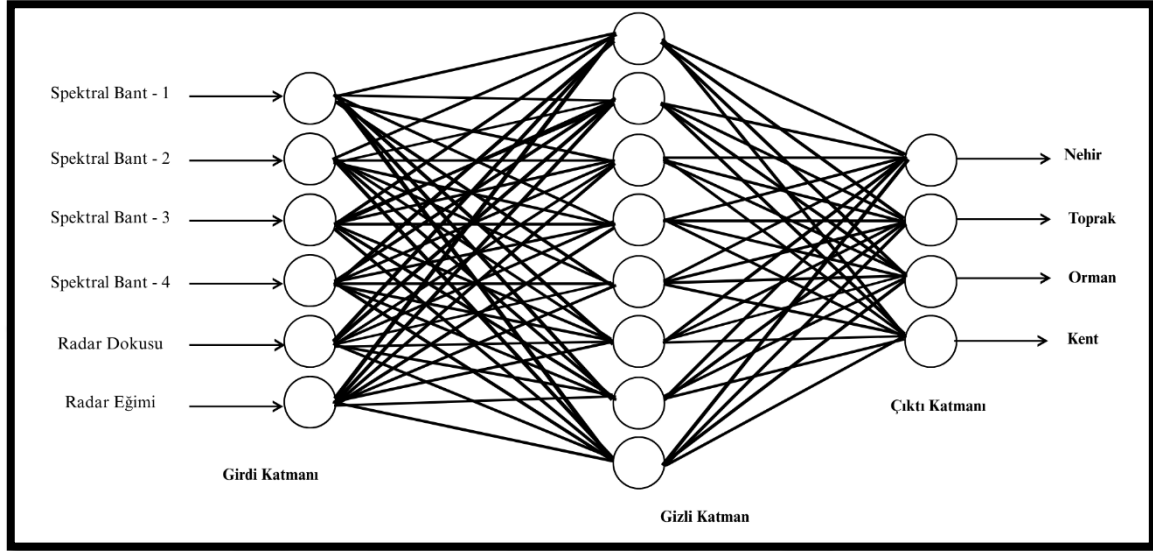
3.2.3.5. Sinir Ağı Sınıflandırma

Yapay sinir ağları, biyolojik sinir sistemlerinden esinlenerek geliştirilen ve makine öğrenmesine dayalı olarak çalışan sınıflandırma yöntemlerinden biridir. Girdi ve çıktı verileri arasındaki ilişkileri öğrenerek kendi kendine uyum sağlayabilen bu yapı, özellikle karmaşık desenlerin analizinde etkili sonuçlar verir. Geniş veri aralıklarını işleyebilme yeteneği sayesinde, eğitilmiş veriye duyulan ihtiyaç daha azdır (Lillesand ve diğ., 2018).

Yapay Sinir Ağları (YSA), insan beynindeki nöronlara benzer şekilde çalışan işlem birimlerinden oluşur. Bu birimler, girdileri toplayarak bir aktivasyon fonksiyonu aracılığıyla çıktı üretir. Çok katmanlı yapıya sahip bir YSA modeli; girdi katmanı, bir veya birden fazla gizli katman ve çıktı katmanından meydana gelir. Girdi katmanı, verilerin ağa girişini sağlar; gizli katmanlar, bu veriler üzerinde ağırlıklı bağlantılar yoluyla hesaplamalar yapar. Her bir bağlantı belirli bir ağırlıkla çarpılarak iletilir. Çıktı

katmanı ise sınıflandırma sonuçlarının elde edildiği son katmandır (Çölkesen ve Kavzoğlu, 2008).

Şekil 3.7’de spektral bantlar, radar temelli doku verileri ve sayısal yükseklik modeli gibi çoklu veri kaynakları yapay sinir ağına giriş olarak verilmiş ve sonuçta sınıflar su, kum, orman ve kent olarak belirlenmiştir.



Şekil 3.7. Yapay sinir ağı örneği (Çölkesen ve Kavzoğlu, 2008)

3.2.3.6. Destek Vektör Makineleri Algoritması ile Sınıflandırma

Destek Vektör Makineleri, Vladimir Vapnik tarafından geliştirilen istatistiksel öğrenme kuramına dayalı, denetimli bir sınıflandırma algoritmasıdır. Temel amacı, farklı sınıflara ait verileri ayıran en uygun hiper-düzlemi belirlemektir. Bu algoritma; el yazısı tanıma, metin sınıflandırma gibi birçok alanda başarıyla uygulanmış, son yıllarda ise uzaktan algılama verilerinin sınıflandırılmasında etkin bir yöntem olarak öne çıkmıştır. DVM, eğitim verileri üzerinden sınıflar arasındaki sınırı tanımlayan bir model oluşturur ve bu modelin genelleme kabiliyeti bağımsız test verileriyle değerlendirilir. Doğrusal olarak ayrılabilen veri kümelerinde, çok sayıda hiper-düzlem mümkün olsa da DVM yalnızca en geniş marja sahip olanı seçer. Bu düzlemi belirleyen kritik veri noktaları ise "destek vektörleri" olarak adlandırılır. Ayrıca, doğrusal olarak ayrılamayan durumlarda veri, kernel fonksiyonları ile daha yüksek boyutlu bir uzaya taşınarak doğrusal ayrılabilir hale getirilir. Böylece sınıflandırma başarısı artırılır (Çölkesen vd., 2015; Çölkesen ve Kavzoğlu, 2008).

3.2.4. Sınıflandırma Doğruluk Değerlendirmesi

Doğruluk analizi, uzaktan algılama çalışmaları kapsamında elde edilen sınıflandırılmış görüntülerin güvenilirliğini ve geçerliliğini değerlendirmek amacıyla kullanılan temel bir yöntemdir. Bu analiz, sınıflandırma sonuçlarının belirli bir referans veri seti ile karşılaştırılması yoluyla gerçekleştirilir. Böylece, görüntüde yer alan her bir pikselin ya da noktanın doğru sınıfa atanıp atanmadığı belirlenerek, sınıflandırmanın ne ölçüde isabetli olduğu ortaya konur (Döker ve Gül, 2019).

Sınıflandırma işleminin doğruluğunu analiz etmek için kullanılır. Diğer bir deyişle doğruluk analizi yeryüzüne ait örüntünün ait oldukları sınıflara doğru mu yanlış mı ayrıldığıнын analizidir. Sınıflandırma işleminde doğruluk analizi yapılmasının nedenleri;

- Sınıflandırma sonuçları, çeşitli analizlerin temelini oluşturur. Bu nedenle, sınıflandırma sonuçlarının doğruluğunun belirlenmesi, daha sonraki analizlerin güvenilirliğini sağlamak için önemlidir.
- Hangi sınıflandırma yönteminin kullanılacağına karar vermek, analizlerin ve sonuçların doğruluğunu etkiler. Farklı yöntemlerin avantajları ve dezavantajları dikkate alınarak, uygulamanın gereksinimleri ve veri setinin özellikleri doğrultusunda bir seçim yapılmalıdır. Bu karar verme süreci, CBS uygulamalarının başarısını etkileyen kritik bir faktördür (Sunar ve diğ., 2018).

3.2.4.1. Hata Matrisi

Sınıflandırma doğruluğunu değerlendirmek için en sık başvurulan yöntemlerden biri hata matrisi analizidir. Bu matrisin oluşturulmasında, referans verileri olarak kabul edilen test verileri kullanılır. İlk olarak, görüntüdeki tüm pikseller, eğitim verisiyle tanımlanan sınıflandırma yöntemine göre sınıflandırılır. Daha sonra, referans verilerine karşılık gelen piksellerin hangi sınıfa atandığı belirlenir. Son adımda, bu piksellerin sınıflandırılmasıyla elde edilen sayılar, sütunlar halinde yan yana yerleştirilerek bir matris oluşturulur. Bu matrise hata matrisi denir ve her bir sütun ayrı bir kategoriye, satırlar ise referans verilerinin atandıkları sınıfları temsil eder. Böylece Şekil 3.8'deki gibi toplam k tane sınıf için hata matrisi k satır ve k sütundan oluşur. Bu yaklaşım, sınıflandırma doğruluğunu değerlendirmek için yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir.

		J= Sütunlar (Referans)			Kolon Toplamı
		1	2	k	n_{i+}
i= Satırlar (Sınıflandırma)	1	n_{11}	n_{12}	n_{1k}	n_{1+}
	2	n_{21}	n_{22}	n_{2k}	n_{2+}
	k	n_{k1}	n_{k2}	n_{kk}	n_{k+}
Sütun Toplamı → n_{+j}		n_{+1}	n_{+2}	n_{+k}	n

Şekil 3.8. Hata matrisi

Sınıflandırılmış verilerin doğruluk yüzdeleri; genel doğruluk (overall accuracy), üretici doğruluğu (user accuracy), kullanıcı doğruluğu (producer accuracy) ve Kappa istatistikleri olarak hesaplanır (Ulutürk ve Aydın, 2023).

Bu çalışmada, 17 Ağustos 1999 Gölçük Depremi (Mw: 7.4) ve 12 Kasım 1999 Düzce Depremi (Mw: 7.2) gibi büyük depremlerden etkilenen Düzce ilinde, 1999–2024 yılları arasında meydana gelen arazi kullanım değişiklikleri incelenmiştir. Bu kapsamda, uzaktan algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri teknolojilerinden yararlanılmıştır. Çalışmada kullanılan uydu görüntüleri, Landsat serisine ait olup; 1999 yılı için Landsat 7 ETM+, 2009 yılı için Landsat 5 TM, 2019 ve 2024 yılları için ise Landsat 8 OLI verileri tercih edilmiştir. Tüm görüntüler yaz aylarına (özellikle Ağustos) ait, bulut oranı düşük seçilmiş ve USGS Earth Explorer platformu üzerinden temin edilmiştir.

Uydu görüntüleri, hazır ve ön işlenmiş formatta sağlandığı için radyometrik ve atmosferik düzeltmelere ihtiyaç duyulmamıştır. Ancak, tüm verilerin mekânsal bütünlüğünün sağlanması amacıyla projeksiyon sistemleri kontrol edilmiş ve gerekli

uyumlaştırmalar yapılmıştır. Bant kombinasyonlarında kullanılan bantların çözünürlükleri 30 metre mekânsal çözünürlüğe sahiptir. Görüntü zenginleştirme ve veri seti sadeleştirme adımları kapsamında farklı bant kombinasyonları (Doğal renk, sahte renk kentsel ve sahte renk vejetasyon değerlendirilmiş; sınıflandırma öncesinde uygun kombinasyonlarla görsel ayırım güçlendirilmiştir. Ayrıca, yüksek boyutlu verilerde bilgi tekrarı ve gereksiz içeriklerin sınıflandırma sürecini olumsuz etkilemesini önlemek amacıyla temel bileşen analizi uygulanmıştır. Temel bileşen analizi, görüntü netliği artırma amacıyla değil; varyans açısından en bilgilendirici bileşenleri öne çıkararak veri boyutunu azaltmak amacıyla tercih edilmiştir.

Sınıflandırma işlemi, Destek Vektör Makineleri algoritması kullanılarak gerçekleştirilmiştir. DVM, doğrusal olmayan sınıflar arasında dahi yüksek ayırt edicilik sağlayan, parametrik olmayan bir algoritma olması nedeniyle tercih edilmiştir. Her bir arazi kullanım sınıfı için yeterli sayıda eğitim örneği tanımlanmış ve bu verilerle model eğitilerek, tüm uydu görüntüleri üzerinde sınıflandırma uygulanmıştır.

Gerçekleştirilen sınıflandırma sonuçlarının güvenilirliğini değerlendirmek amacıyla her yıla ait doğruluk analizleri yapılmış, hata matrisi oluşturularak üretici doğruluğu, kullanıcı doğruluğu, genel doğruluk oranı ve Kappa katsayısı gibi istatistiksel ölçütler hesaplanmıştır.

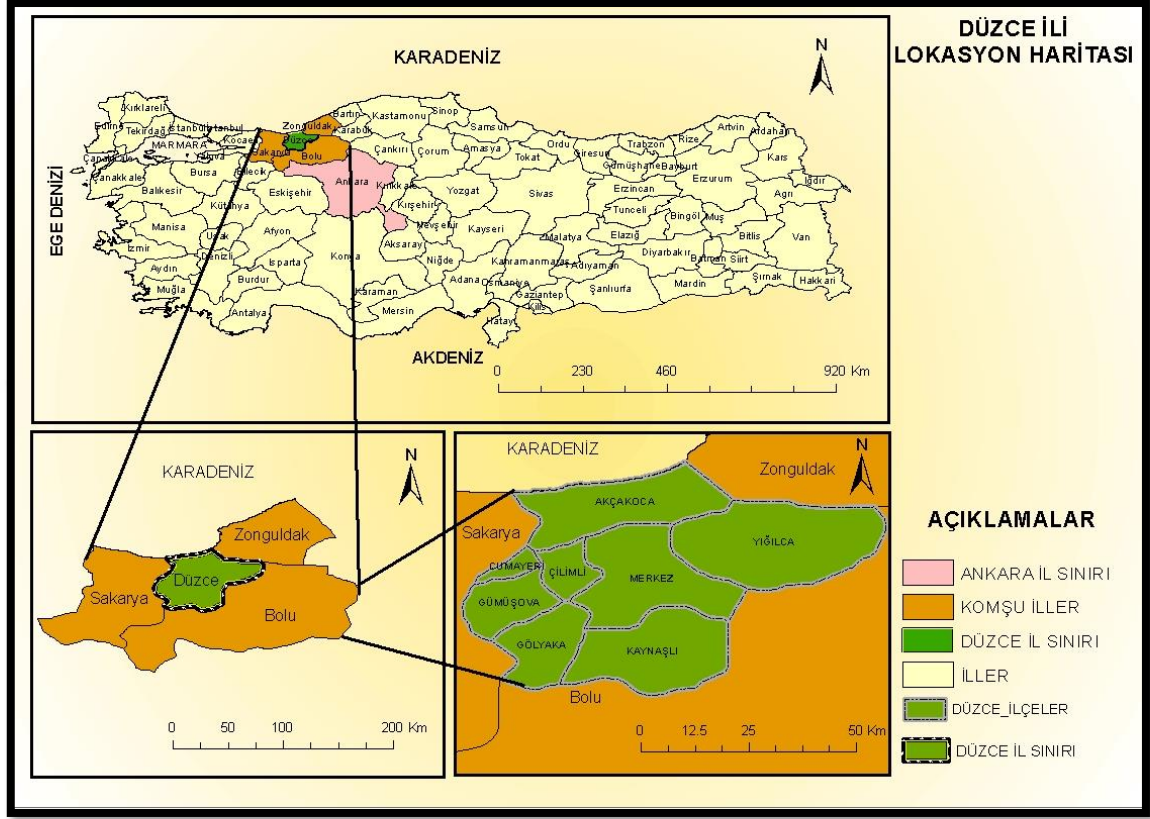
3.3. Materyal

Düzce İl'ini etkileyen depremler sonrasında arazi kullanımında meydana gelen değişimleri ortaya koymak için yapılan çalışmada Landsat uydu görüntüleri kullanılmıştır. Görüntü işleme ve zenginleştirme, sınıflandırma için Arcmap ve Qgis yazılımından yararlanılmıştır. Sınıflandırma verileri elde edilirken Corine sınıflandırma verilerinden yararlanılmıştır. Doğruluk analizi için Arcmap 10.5, Google Earth Pro, Excel ve Düzce İli hava fotoğrafları kullanılmıştır. Bulguların harita haline dönüştürülmesi için Arcmap kullanırken analiz işlemleri Excel programı tercih edilmiştir.

3.3.1. Çalışma Alanı

Düzce ili Şekil 3.9'da olduğu gibi Karadeniz'in batısında yer alırken, Batı Karadeniz Bölümü'nde, Bolu'nun batısında, Sakarya'nın doğusunda ve Zonguldak'ın güneybatısında bulunur. İl, kuzeyde Karadeniz'e kıyı sağlar ve doğusunda büyük bir dağlık alanla çevrilidir. Yüksekliği 150 m civarında olup, Efteni Gölü ve Büyük Melen

boyunca rakım 112 m'ye düşer. Düzce'nin en yüksek noktası, 1.830 m ile Kardüz Yaylası'dır. Şehir, zengin doğal kaynaklarıyla tanınır; akarsuları, gölleri, yaylaları ve plajları ile dinlenme amaçlı tercih edilen bir yerdir. Düzce'nin kuzey kıyısı boyunca 22 km uzunluğunda sahili bulunur.

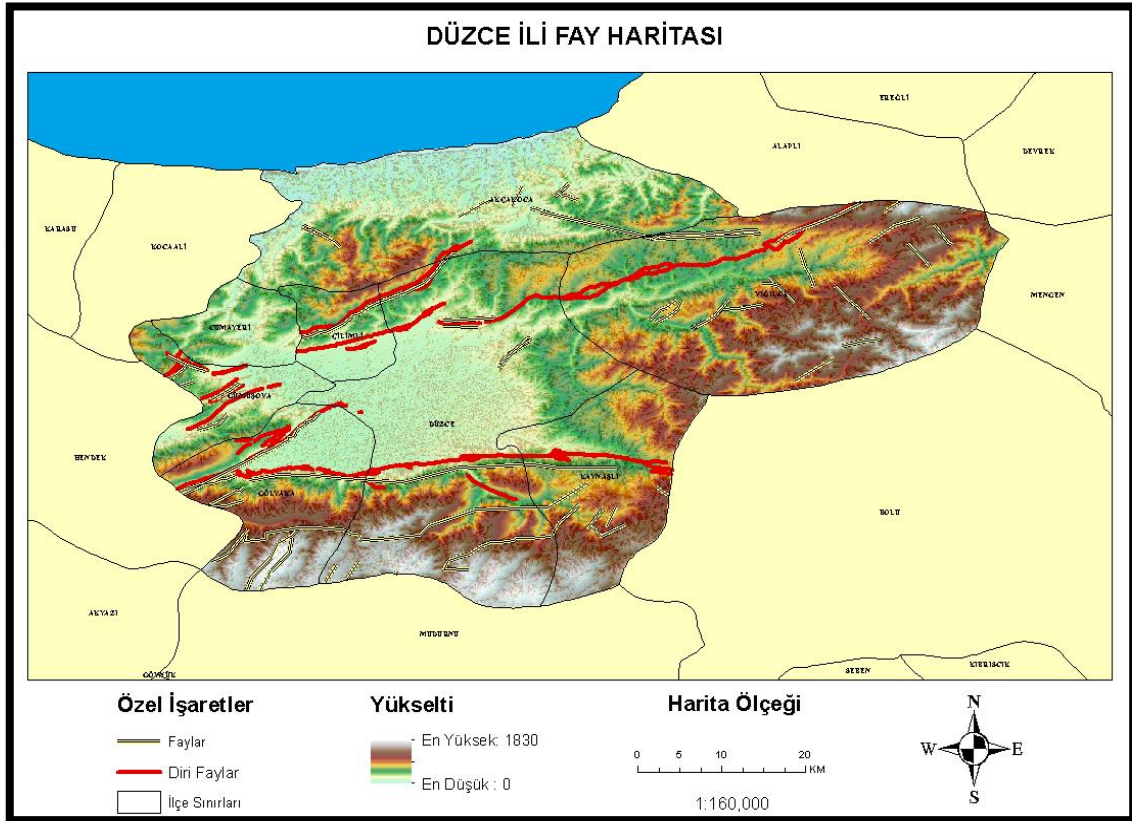


Şekil 3.9. Çalışma alanı

Şehrin toprakları, dağlarla çevrili çukurlardan oluşur; kuzeyde Akçakoca Dağları, doğuda Bolu Dağları ve güneyde Elmacık Dağları yer alır. Merkezde ise tarım açısından verimli olan Düzce Ovası bulunur. Önemli akarsuları arasında Küçük Melen, Asar Suyu, Uğur Suyu ve Aksu Deresi sayılabilir. Bu akarsular, Efteni Gölü'nde birleşip Büyük Melen Nehri aracılığıyla Karadeniz'e dökülür. Düzce'nin yüzölçümü 2.492 km² olup, merkez ilçenin yüzölçümü 710 km²'dir. Düzce İli, merkez ilçesiyle birlikte 8 ilçeden oluşmakta olup, 10 belediye, 115 mahalle ve 278 köy bulunmaktadır. 2024 yılı itibarıyla, Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi'ne göre Düzce'nin nüfusu 412 344 olarak kaydedilmiştir (Düzce Valiliği, 2025).

Düzce ili Şekil 3.10'da görüldüğü gibi Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun (KAFZ) batı segmenti üzerinde yer almakta olup, bölgenin depremselliği büyük ölçüde bu fay sistemi tarafından belirlenmektedir. KAFZ, yaklaşık 1200 km uzunluğunda, sağ yönlü doğrultu atımlı aktif bir fay kuşağıdır ve Anadolu levhacığını Avrasya levhasından ayıran önemli

bir tektonik sınırdır. Fay zonu, Bolu'nun batısında iki kola ayrılmakta; kuzeydeki kol Düzce Fayı olarak adlandırılmaktadır. Yaklaşık 70 km uzunluğundaki Düzce Fayı, Akyazı ile Düzce arasında uzanmakta ve üç alt segmentten oluşmaktadır. Bu fay, 17 Ağustos (Mw: 7.4) ve 12 Kasım (Mw: 7.2) 1999 depremleri ile aktifliğini göstermiştir. 17 Ağustos depremindeki yüzey kırığının 30 km'lik doğu bölümü Düzce Fayı üzerinde gerçekleşmiş, kırık Efteni Gölü'ne kadar ulaşmıştır.



Şekil 3.10. Düzce ili fay haritası

Bölgede ayrıca Hendek–Çilimli Fayı da önemli bir yapısal unsurdur. Bu fay, Sapanca Gölü'nden başlayarak Hendek ve Cumayeri üzerinden uzanır ve yaklaşık 50 km uzunluğundadır. Sağ yönlü doğrultu atımlı olan bu fay, morfolojik olarak belirgin kırık izleri, ötelenmiş akarsular ve basınç sırtları ile izlenebilmektedir. 1994 yılında gerçekleşen Düzce-Hendek depremi (Mw: 6.5) ile bu fayın aktif olduğu teyit edilmiştir.

Düzce'nin toprakları arasında alüvyal, kolüvyal ve orman toprakları gibi farklı türler bulunur, ancak en yaygın toprak türü kireçsiz kahverengi orman topraklarıdır. Düzce Ovası, tarıma uygun alüvyal topraklara sahip olup, çevresindeki dağlık alanlarda kırmızı sarı podzolik topraklar görülmektedir. Ovanın doğu ve güneyinde ise alüvyal topraklar geniş alanlar kaplar. Ayrıca, Düzce'nin doğal bitki örtüsü oldukça zengindir.

Kıyı kesiminde maki bitki örtüsü, dağlarda ise kayın, meşe, kestane ve gürgen ormanları bulunmaktadır(Firat ve Hanbay, 2022). Düzce ilinin toplam yüzölçümü 249.200 hektar olup, bunun 73.935 hektarı tarım arazisidir. İl arazisinin büyük bir kısmı, 124.390 hektar ile ormanlarla kaplıdır. Ayrıca, 2.093 hektar mera ve çayır alanı bulunurken, 48.782 hektar alan tarım dışı olarak sınıflandırılmaktadır. Düzce'deki sulanabilir tarım arazisi 30.000 hektar olup, bunun 15.000 hektarı ekonomik sulamaya uygun alandır. Sulama faaliyetleri kapsamında 1.092 hektar alan İl Özel İdaresi ve halk sulamasıyla, 11.000 hektar alan ise DSİ tarafından sulanmaktadır. Bu sulanan arazinin ekonomik olarak sulanabilir alanla oranı ise %80,6'dır. Ormanlık alanlar dışında kalan bölgelerde ise fındık, mısır, çeltik ve buğday gibi ürünler ekilmektedir(Düzce Valiliği, 2025).

3.3.2. Çalışma Alanı için Kullanılan Uydu Görüntüleri

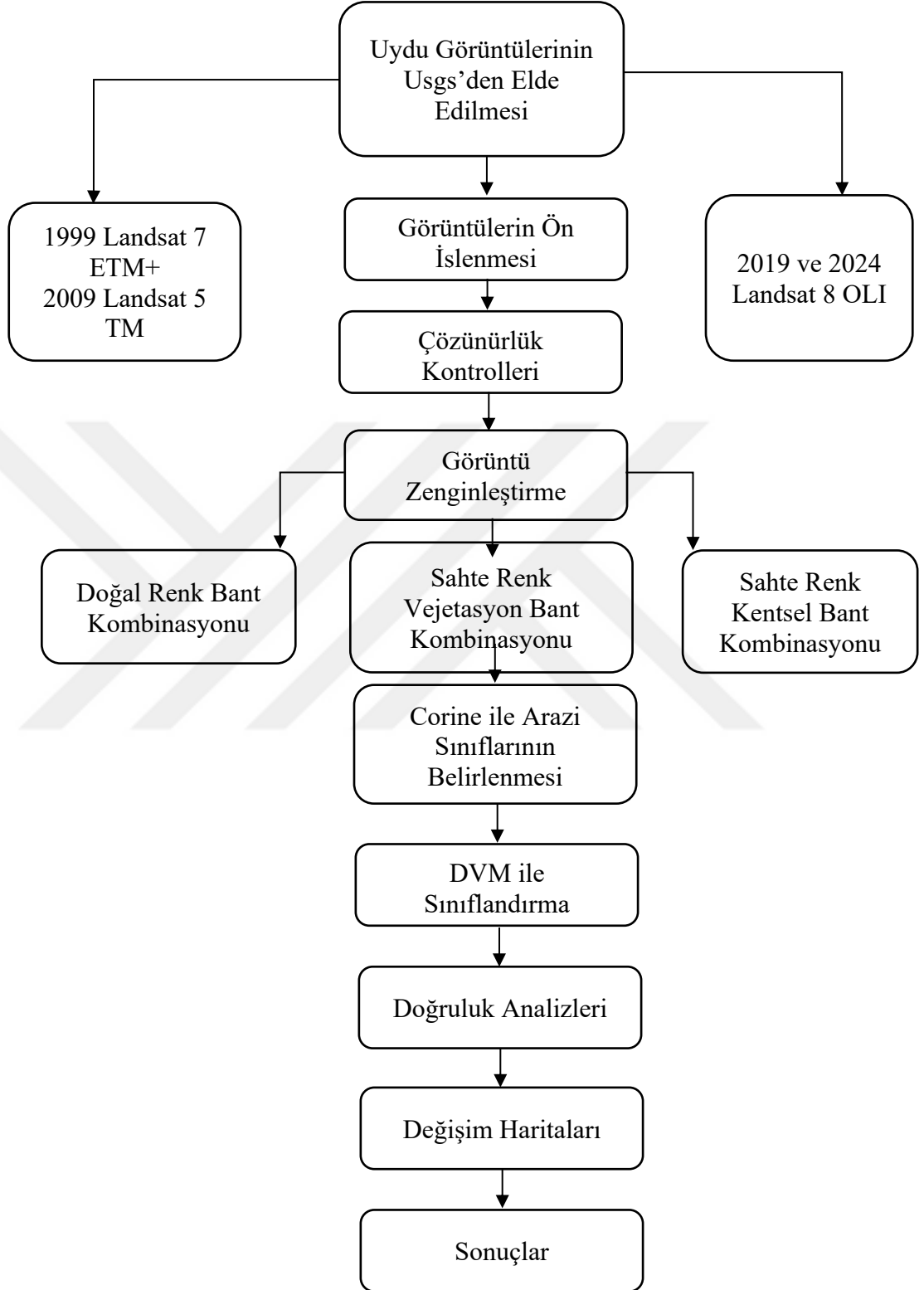
19/08/1999 tarihine ait Landsat 7 ETM+ uydu görüntüsü, 09/08/2009 tarihine ait Landsat 5 TM uydu görüntüsü,15/08/2019 tarihine ait Landsat 8 OLI uydu görüntüsü ve 15/08/2024 Landsat 8 OLI uydu görüntüsü USGS Earth Explorer'dan ücretsiz olarak temin edilmiştir. Uydu görüntüleri %5 den az bulutluluk oranına sahip olacak şekilde temin edilmiştir. Burada veriler sağlanırken mevsimler arasında oluşacak farklılıklardan kaynaklı yansıtım değerlerinin değişmesinden dolayı 1999, 2009, 2019 ve 2024 veriler ağustos ayı olacak şekilde temin edilmiştir. Çalışmada kullanılan uydu görüntüsü, 17 Ağustos 1999 tarihli Marmara Depremi'nden iki gün sonra, 19 Ağustos 1999 tarihinde elde edilmiştir. Bu tarih, depremin hemen sonrasına denk gelmekle birlikte, görüntü temininde teknik ve arşivsel kısıtlar nedeniyle 17 Ağustos tarihine ait veri kullanılamamıştır. Ayrıca, 17 Ağustos depremi Düzce ilini doğrudan merkez almadığı için bölgedeki etkisi, 12 Kasım 1999 Düzce Depremi'ne kıyasla daha sınırlı olmuştur. Bu nedenle analizlerde esas olarak 12 Kasım depremi sonrası arazi kullanım değişiklikleri değerlendirilmektedir.

Çizelge 3.7'de verildiği gibi Landsat 5 TM termal kızılötesi bant 120m çözünürlüklü diğer bantlar 30m çözünürlüklü olmak üzere toplamda 7 banta sahiptir. Landsat 7 ETM+ 15 m çözünürlüklü 1 adet pankromatik ve 7 tane multi spektral bantlar olmak üzere toplamda 8 banta sahiptir. Landsat 8 OLI ise 1 adet pankromatik, 2 adet termal ve 8 adet multispektral bant olmak üzere 11 banda sahiptir.

Çizelge 3.7. Landsat uydu görüntüleri çözünürlükleri

Tarih	Uydu Adı	Sensör	Bant Sayısı	Bantlar	Mekânsal Çözünürlük (m)
19.08.1999	Landsat 7	ETM+	8	1-5, 7 (30 m), 6 (Termal – 60 m), 8 (15 m Pan)	15-60 m
09.08.2009	Landsat 5	TM	7	1-5, 7 (30 m), 6 (Termal – 120 m)	30-120 m
15.08.2019	Landsat 8	OLI / TIRS	11	1-7, 9 (OLI: 30 m), 8 (Pan: 15 m), 10-11 (TIR: 100 m)	15-100 m
15.08.2024	Landsat 8	OLI / TIRS	11	1-7, 9 (OLI: 30 m), 8 (Pan: 15 m), 10-11 (TIR: 100 m)	15-100 m

3.4.Yöntem



Şekil 3.11. İş akış şeması

3.4.1. Uydu Görüntülerinin Ön İşlenmesi

Uydu görüntüleri Usgs Earth Explorer' dan elde edilmiştir. Data Sets bölümünden 1999 yılı uydu görüntüsü Landsat 7 ETM+, 2009 yılı uydu görüntüsü Landsat 5 TM ,2019 yılı uydu görüntüsü Landsat 8 OLI ve 2024 yılı uydu görüntüsü Landsat 8 OLI Collection-2 Level-2 olarak seçilmiştir. Collection-2 Level-2 verileri radyometrik, geometrik, atmosferik, topografik düzeltmeleri yapılmış şekilde sunmaktadır. Aynı zamanda bazı Landsat 7ETM+ verilerinde görülen SLC (Scan Line Corrector) sürekli beyaz çizgi hatası ve veri kaybı durumu giderilmiştir. Burada 2009 verisi Landsat 7 ETM+ verisi o yıllarda SLC hatası verdiği için Landsat 5 TM olarak tercih edilmiştir. Burada kullanılacak bütün bantlar 30m mekânsal çözünürlüğe sahiptir.



4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

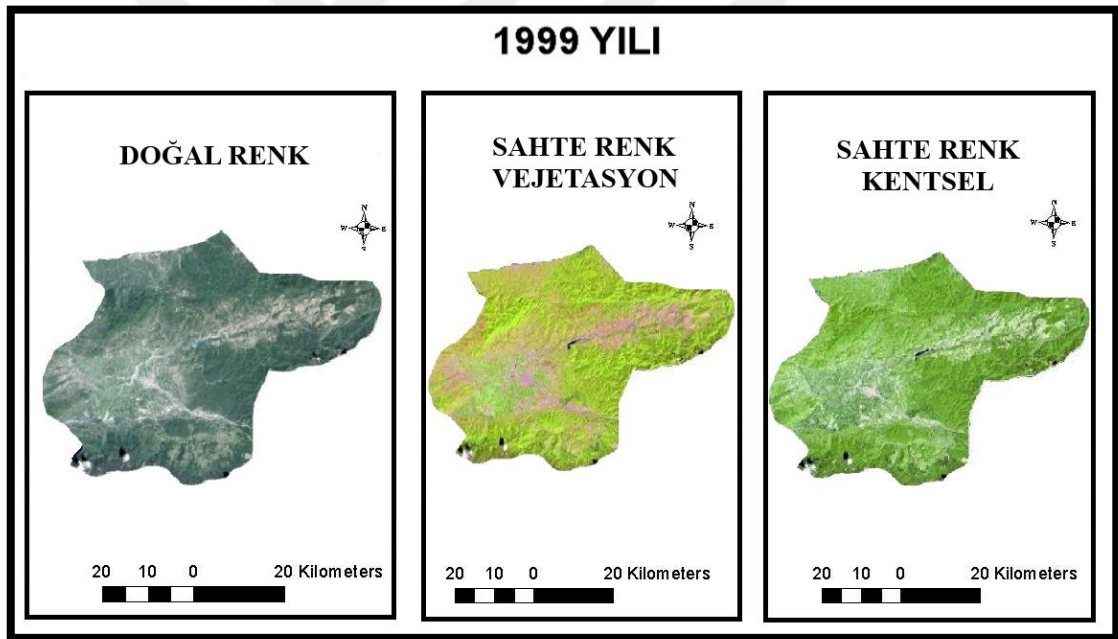
4.1. Uydu Görüntülerini Zenginleştirme

Ön işleme adımları uygulanan uydu görüntülerinin sınıflandırılması ve yorumlanmasını daha kaliteli hale getirmek için çeşitli görüntü zenginleştirme yöntemleri kullanılır. Bu çalışma alanı için bant kombinasyonları ve pansharping çeşitlerinden temel bileşen analizi yöntemi kullanılmıştır.

4.1.1. Bant Kombinasyonları

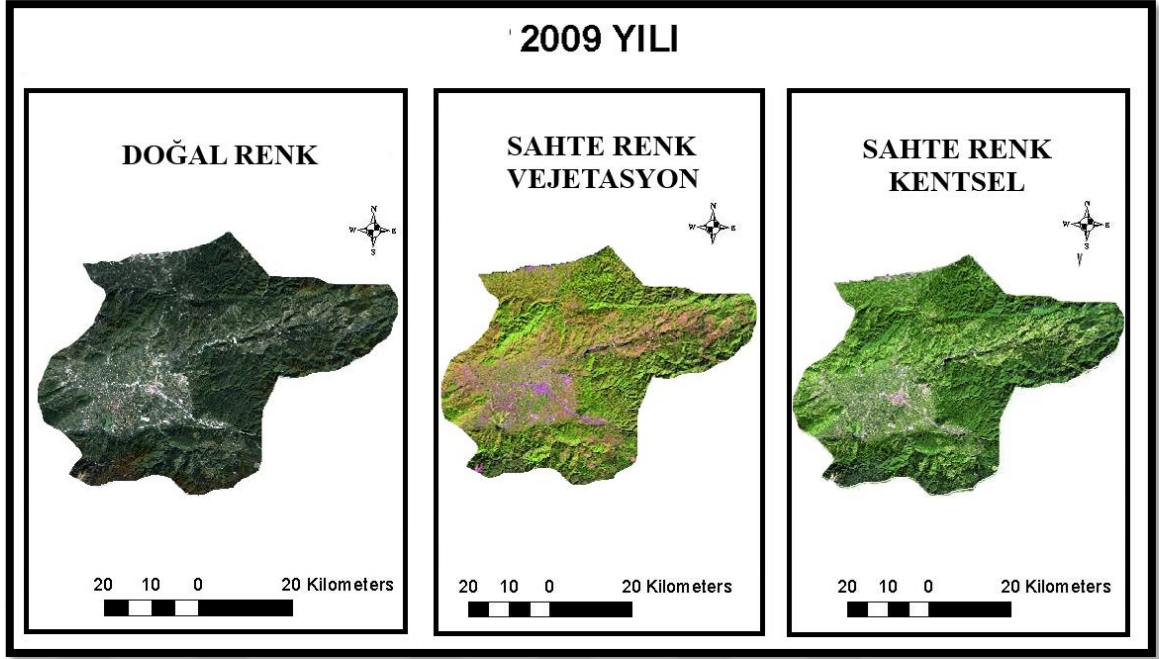
1999, 2009, 2019 ve 2024 yılı için sınıflandırma için uygun olacak doğal renk, sahte renk vejetasyon, sahte renk kentsel, bant kombinasyonları tercih edilmiştir.

1999 yılına ait doğal renk, sahte renk vejetasyon, sahte renk kentsel bant kombinasyonları Şekil 4.1’de verilmiştir.



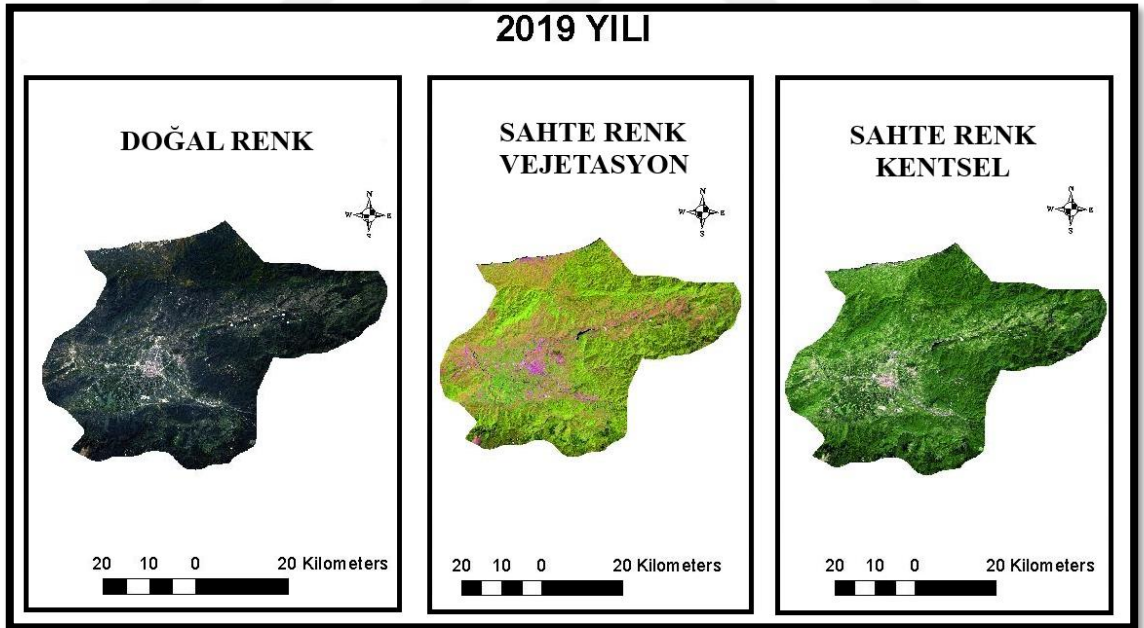
Şekil 4.1. 1999 yılına ait bant kombinasyonları

2009 yılına ait doğal renk, sahte renk vejetasyon, sahte renk kentsel bant kombinasyonları Şekil 4.2’de verilmiştir.



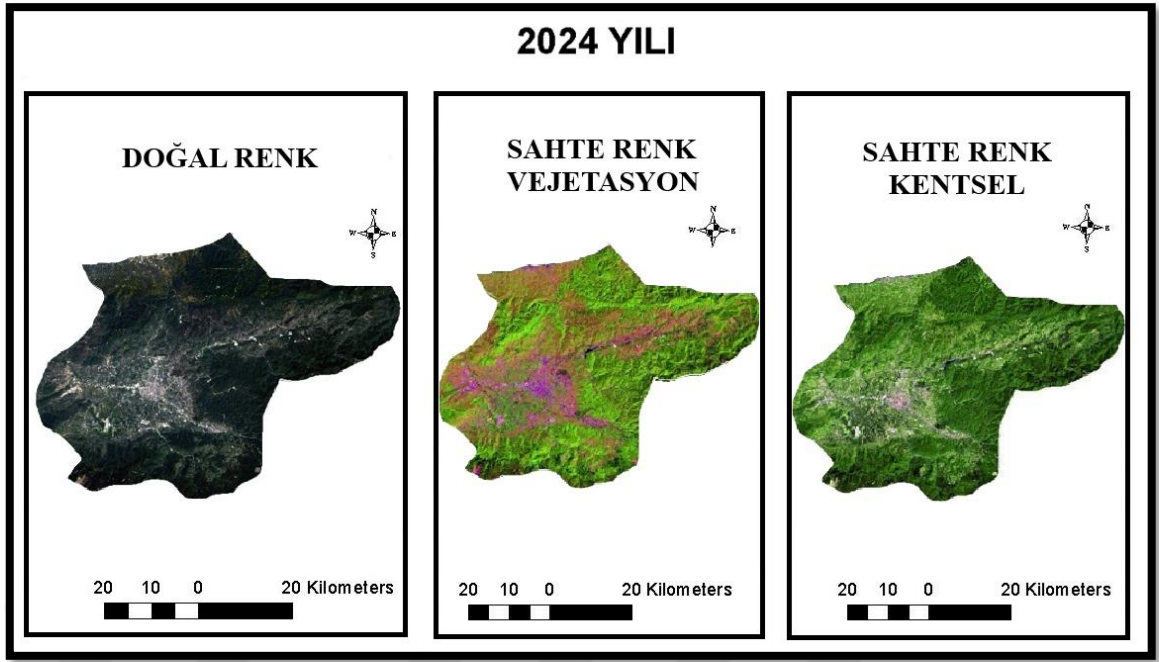
Şekil 4.2. 2009 yılına ait bant kombinasyonları

2019 yılına ait doğal renk, sahte renk vejetasyon, sahte renk kentsel bant kombinasyonları Şekil 4.3'te verilmiştir.



Şekil 4.3. 2019 yılına ait bant kombinasyonları

2024 yılına ait doğal renk, sahte renk vejetasyon, sahte renk kentsel bant kombinasyonları Şekil 4.4'te verilmiştir.



Şekil 4.4. 2024 yılına ait bant kombinasyonları

1999, 2009, 2019 ve 2024 yıllarına ait uydu görüntülerine uygulanan 3 bant kombinasyonuna göre destek vektör makineleri algoritması ile sınıflandırma yapılmıştır.

4.1.2. Temel Bileşen Analizi

Temel Bileşen Analizi, sınıflandırma adımından önce veri boyutunun küçültülmesi, gürültünün azalması ve spektral bantlar arasındaki korelasyonun azalması ve bağımsız sonuç verebilmesi nedeniyle daha verimli sonuç elde etmek için tercih edilmektedir. Burada temel bileşen analizi Arcmap programında Spatial Analyst Tools'dan Multivariate adımları takip edilerek yapılmıştır.

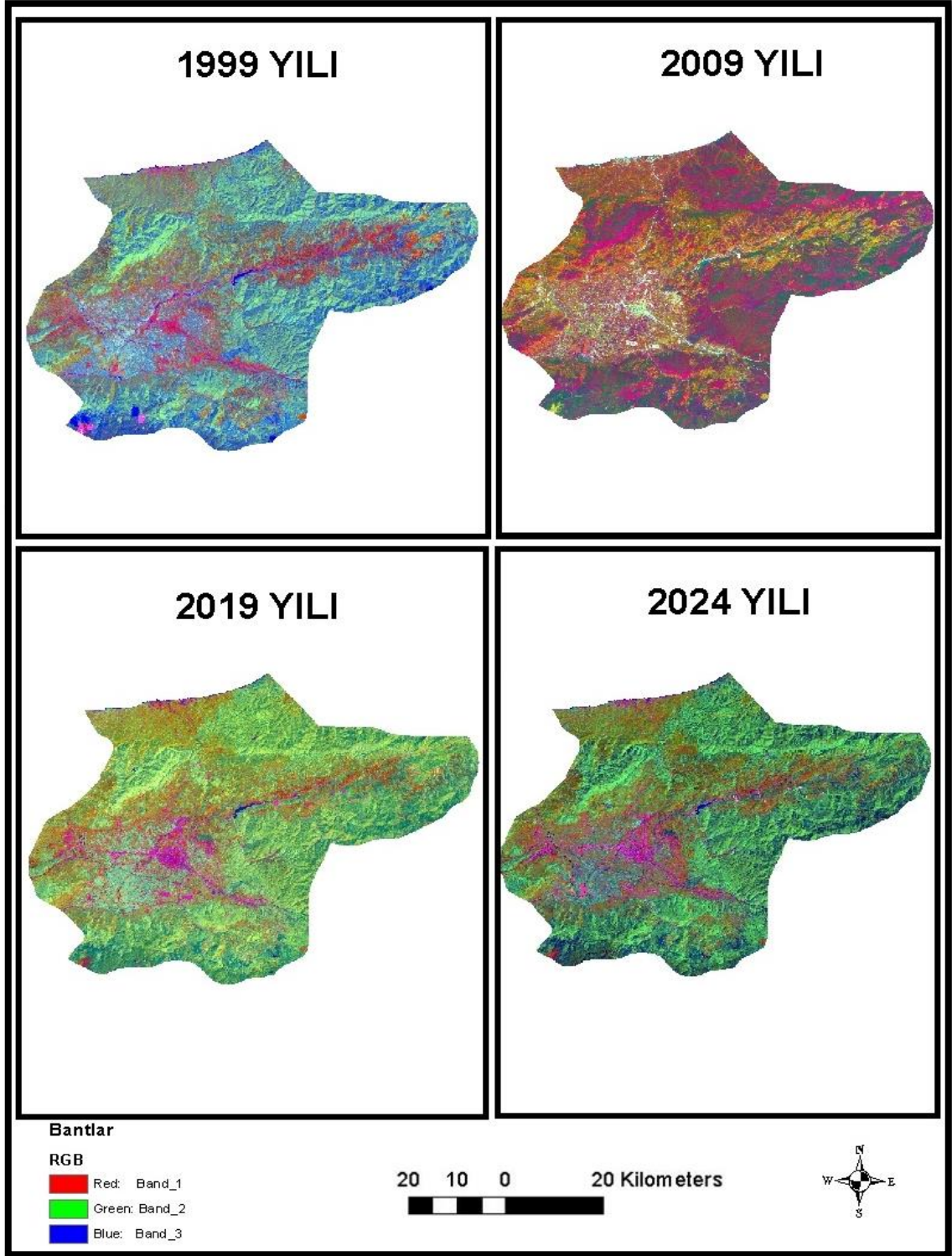
Çalışmada, 30 metre mekânsal çözünürlüğe sahip Landsat 5 TM, Landsat 7 ETM+ ve Landsat 8 OLI uydu görüntüleri kullanılarak görüntü zenginleştirme amacıyla temel bileşen analizi uygulanmıştır. Her bir Landsat uydusu, kendine özgü bant yapısına sahip olduğundan, analizde kullanılan bantlar görüntü kaynağına göre farklılık göstermektedir.

Temel bileşen analizi yöntemi ile çok bantlı görüntü verisindeki spektral bantlar arasındaki korelasyon azaltılarak, verideki en yüksek varyansı temsil eden yeni bileşenler (PC1, PC2, PC3, PC4, PC5, PC6) oluşturulmuştur. Bu süreç sonunda, ilk üç ana bileşen (PC1, PC2 ve PC3) kullanılarak üç bantlı yeni bir görüntü elde edilmiştir. Çizelge 4.1'de temel bileşen analizinde kullanılan Landsat uydu verilerine ait bant özelliklerine yer verilmiştir.

Çizelge 4.1. Temel bileşen analizinde kullanılan bantların özellikleri

Yıl	Uydu Sensörü	Kullanılan Bantlar	Kullanılan Bant Numaraları	Mekânsal Çözünürlük	PCA Sonrası Kullanılan Bileşenler
1999	Landsat 7 ETM+	Görünür ve Kıızılötesi Bantlar	1, 2, 3, 4, 5, 7	30 m	PC1, PC2, PC3
2009	Landsat 5 TM	Görünür ve Kıızılötesi Bantlar	1, 2, 3, 4, 5, 7	30 m	PC1, PC2, PC3
2019	Landsat 8 OLI	Görünür ve Kıızılötesi Bantlar	2, 3, 4, 5, 6, 7	30 m	PC1, PC2, PC3
2024	Landsat 8 OLI	Görünür ve Kıızılötesi Bantlar	2, 3, 4, 5, 6, 7	30 m	PC1, PC2, PC3

Şekil 4.5'te görüldüğü gibi temel bileşen analizine tâbi tutulan görüntüler sınıflandırma işlemlerinde giriş verisi olarak değerlendirilmiştir. Bu yöntem hem bantlar arasındaki bilgi tekrarı azaltmakta hem de daha kompakt ve anlamlı bir veri yapısı sunarak sınıflandırma doğruluğunu artırmaktadır.



Şekil 4.5. Temel bileşen analizine tâbi tutulan görüntüler

4.2. Sınıflandırma

CORINE (Coordination of Information on the Environment), Avrupa Çevre Ajansı (AÇA) tarafından yürütülen ve arazi örtüsü/kullanımı verilerinin uydu görüntüleri

üzerinden bilgisayar destekli görsel yorumlama yöntemiyle üretildiği çevresel bir bilgi sistemidir. Program, Avrupa genelinde çevreye ilişkin öncelikli temalarda (hava, su, toprak, arazi örtüsü, kıyı erozyonu) tutarlı ve karşılaştırılabilir veri sağlamayı hedeflemektedir.

1985 yılında Avrupa Birliği inisiyatifiyle başlatılan CORINE, 1994 yılından itibaren AÇA bünyesinde yürütülmeye başlanmış ve günümüzde Türkiye dahil 39 ülkede yaklaşık 5,8 milyon km²'lik bir alanı kapsamaktadır. Bu kapsamda, uzaktan algılama teknikleri ve Coğrafi Bilgi Sistemleri kullanılarak, arazi örtüsü ve kullanımındaki mekânsal ve zamansal değişimlerin izlenmesi mümkün hale gelmiştir.

CORINE verisi, AÇA tarafından belirlenen standart sınıflandırma sistemi (44 arazi örtüsü/kullanım sınıfı) çerçevesinde üretilmekte olup, çevresel değişimlerin izlenmesi, doğal kaynakların sürdürülebilir yönetimi ve çevre politikalarının bilimsel temellere dayandırılması amacıyla kullanılmaktadır. Bu sebeple CORINE, uzaktan algılama temelli zamansal değişim analizlerinde güvenilir bir temel veri kaynağı sunmaktadır. Bölgesel/küresel ölçekli çevresel değerlendirmeler için ortak bir referans çerçevesi sağlamaktadır(European Environment Agency, 2022).

Çalışmada 4 Corine ana sınıfı olan; yapay bölgeler, tarımsal alanlar, orman ve su yapıları kullanılmıştır. Yapay alanlar; şehir yapısı, endüstri, ulaşım birimleri, maden ocağı, boşaltım ve inşaat sahaları, yapay tarımsal olmayan alanları kapsar. Tarım alanları; ekilebilir alan, sürekli ürünler, meralar, karışık tarımsal alanları kapsar. Orman ve yarı doğal alanlar; ormanlar, maki ve otsu bitkiler, Bitki örtüsü ile kaplı olmayan veya az miktarda bitki örtüsü ile kapalı açık alanları kapsar. Su yapıları; karasal iç sular ve deniz sularını kapsar.

Çizelge 4.2 arazi sınıflarını ve alt sınıflarını göstermektedir. Düzce bölgesi deprem sonrası gelişiminde şehirleşmenin gelişimi, tarım arazilerinin kullanımı, orman alanlarının ve su yapılarının gidişatında meydana gelen değişimlerin incelenmesi için 4 ana sınıf eğitim verisi olarak sunulmuştur.

Çizelge 4.2. Seçilen arazi örtüsü sınıfları

<i>Sınıf</i>	<i>Sınıf Açıklaması</i>
Yapay alanlar	Şehir yapısı, ulaşım birimleri, boşaltım ve inşaat sahaları
Tarım	Ekilebilir alan, sürekli ürünler, meralar
Orman ve Yarı Doğal Alanlar	Ormanlar, makiler
Su yapıları	Karasal iç sular

Sınıflandırma sürecinde dört ana arazi örtüsü sınıfı orman, yapay alanlar, su yüzeyleri ve tarım alanları tanımlanmıştır. Her bir sınıf için 50 adet örnek piksel manüel olarak seçilerek eğitim verisi olarak kullanılmış ve toplamda 200 eğitim verisi ile sınıflandırma modeli oluşturulmuştur.

Bu çalışmada, Düzce ili sınırları içerisinde 1999, 2009, 2019 ve 2024 yılları arasındaki arazi kullanım ve arazi örtüsü değişikliklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda, uydu görüntüleri üzerinde çeşitli spektral analizler gerçekleştirilmiştir. Öncelikle, bitki örtüsü ve kentsel gelişim gibi arazi örtüsü türlerini daha iyi ortaya koymak amacıyla toplamda 3 farklı bant kombinasyonu (doğal renk, sahte renk kentsel, sahte renk vejetasyon) oluşturulmuş, böylece arazinin farklı yansıma özellikleri detaylı şekilde analiz edilmiştir.

Elde edilen görüntüler üzerinde, destek vektör makineleri algoritması kullanılarak belirlenen arazi sınıfları eğitilmiştir. Her biri farklı bant oranlama ve temel bileşen analizi stratejilerine dayanan dört ayrı sınıflandırma seti hazırlanmış ve bu yöntemler karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir. Her sınıflandırma yöntemi sonucunda elde edilen tematik haritalar hem yıllar arasındaki değişimi hem de farklı zenginleştirme yöntemlerinin sınıflandırma doğruluğu üzerindeki etkisini ortaya koyacak şekilde değerlendirilmiştir. Sınıflandırma işlemleri, Arcmap 10.5 yazılımı üzerinden gerçekleştirilmiş olup, bu sürümde DVM algoritmasının çekirdek (kernel) tipi ve diğer parametreleri otomatik olarak belirlenmektedir. Bu nedenle, sınıflandırma sürecinde kullanıcı müdahalesi gerekmeksizin varsayılan parametrik ayarlar üzerinden işlem yapılmıştır.

Destek Vektör Makineleri, sınıf dengesizliği durumlarında özellikle azınlık sınıfları yeterince temsil edilmediğinde performans kaybına uğrayabilir. Çünkü algoritma, toplam hata oranını minimize etmeye çalışırken, çoğunluk sınıfındaki

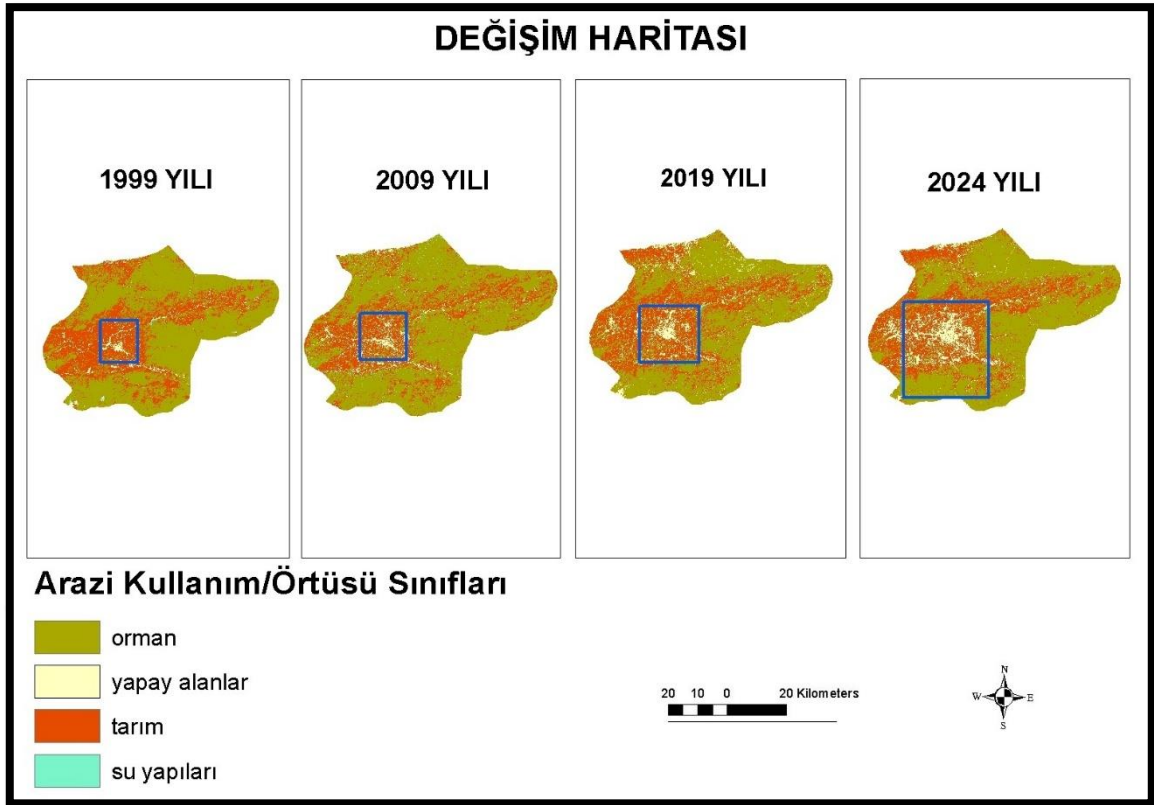
örneklerin ağırlığı daha fazla olur ve bu durum modelin azınlık sınıfını doğru tanıma yeteneğini sınırlar. Azınlık sınıflar için yetersiz veri olması, bu sınıfların destek vektörlerinin sayısının azalmasına ve dolayısıyla karar sınırlarının azınlık sınıfa uygun şekilde şekillenmemesine yol açar. Sonuç olarak, model genellikle çoğunluk sınıfına doğru kayma gösterir ve azınlık sınıfındaki örnekleri yanlış sınıflandırma olasılığı artar. Bu nedenle, sınıf dengesizliği problemlerinde sınıflandırma sonuçlarının değerlendirilmesi gereklidir (He ve. Garcia, 2009).

Arazi kullanımındaki değişim, zamansal olarak karşılaştırmalı analizlerle ortaya konulmuş; böylece Düzce ilinde geçen 25 yıllık süreçte yaşanan yapısal dönüşümler, doğal alanların azalması veya artması gibi eğilimler detaylı biçimde incelenmiştir. Çalışma sonuçları, farklı sınıflandırma stratejilerinin arazi örtüsü değişimini belirlemedeki etkinliğini ortaya koymaktadır.

Çalışmada, sınıflar arasındaki hata nedenlerine ilişkin ayrıntılı bir analiz yapılmamıştır. Özellikle orman ile tarım alanlarının spektral açıdan birbirine yakın olması ve su yapılarının üzerindeki bitkiler ya da suların sığ olması sebebiyle yapay alanlar ve tarım alanı ile karışması sınıflandırma başarısını olumsuz yönde etkileyen önemli bir unsurdur. Bu iki sınıf, doğal renk bant kombinasyonları ve bazı bant indekslerinde benzer spektral özellikler gösterdiğinden, sınıflandırma algoritmalarının sınırlarında karışıklık yaşanabilmektedir. Bunun sonucunda, yapay alanların tarım alanı olarak veya tarım alanlarının yapay alan olarak ya da su yapılarının tarım veya yapay alanlar olarak yanlış etiketlenme ihtimali artmaktadır. Bu tür karışıklıkların daha iyi anlaşılabilmesi için Jeffries Matusita ile Transformed Divergence gibi spektral ayırt edicilik ölçütlerinin uygulanması faydalı olacaktır. Böylece, spektral benzerlikten kaynaklanan hata kaynakları daha net ortaya konarak sınıflandırmanın geliştirilmesine katkı sağlanabilir (Richards & Jia, 2006).

4.2.1. Doğal Renk Bant Kombinasyonuna Göre Sınıflandırma Sonuçları ve Değişim Analizleri

1999 yılı, 2009 yılı, 2019 yılı ve 2024 yılı doğal renk bant kombinasyonu işlemlerinden sonra destek vektör makineleri yöntemine göre sınıflandırma sonuçları Şekil 4.6'da verilmiştir. Yapay alanların büyümesi dikkat çekmektedir.



Şekil 4.6. Doğal renk bant kombinasyonuna göre sınıflandırılmış arazi örtüsü/ kullanım haritası

Çizelge 4.3'te sunulduğu gibi Düzce ilinde 1999–2024 yılları arasında gerçekleştirilen arazi kullanım analizine göre, dört ana arazi örtüsü sınıfında (yapay alanlar, tarım alanları, orman alanları ve su yapıları) önemli değişiklikler tespit edilmiştir.

Çizelge 4.3. Doğal Renk Kombinasyonuna göre Arazi Kullanım/ Örtüsü Sınıflarının Alansal Dağılımı ve Değişimler

<i>Arazi Sınıfı</i>	<i>1999 (ha)</i>	<i>1999 (%)</i>	<i>2009 (ha)</i>	<i>2009 (%)</i>	<i>2019 (ha)</i>	<i>2019 (%)</i>	<i>2024 (ha)</i>	<i>2024 (%)</i>	<i>1999-2024 Değişim (ha)</i>	<i>1999-2024 Yüzde Değişim (%)</i>
Yapay Alanlar	6.697	2.8	9.77	4.1	18.687	7.8	21	8.8	14.303	213.6
Tarım	83.186	34.8	81.592	34.2	80.225	33.6	79	33.1	-4.186	-5
Orman	145.425	60.9	144.214	60.4	136.781	57.3	135.456	56.7	-9.969	-6.9
Su Yapıları	3.462	1.5	3.193	1.3	3.077	1.3	3.314	1.4	-0.148	-4.3
Toplam	238.77	100%	238.77	100%	238.77	100%	238.77	100%		

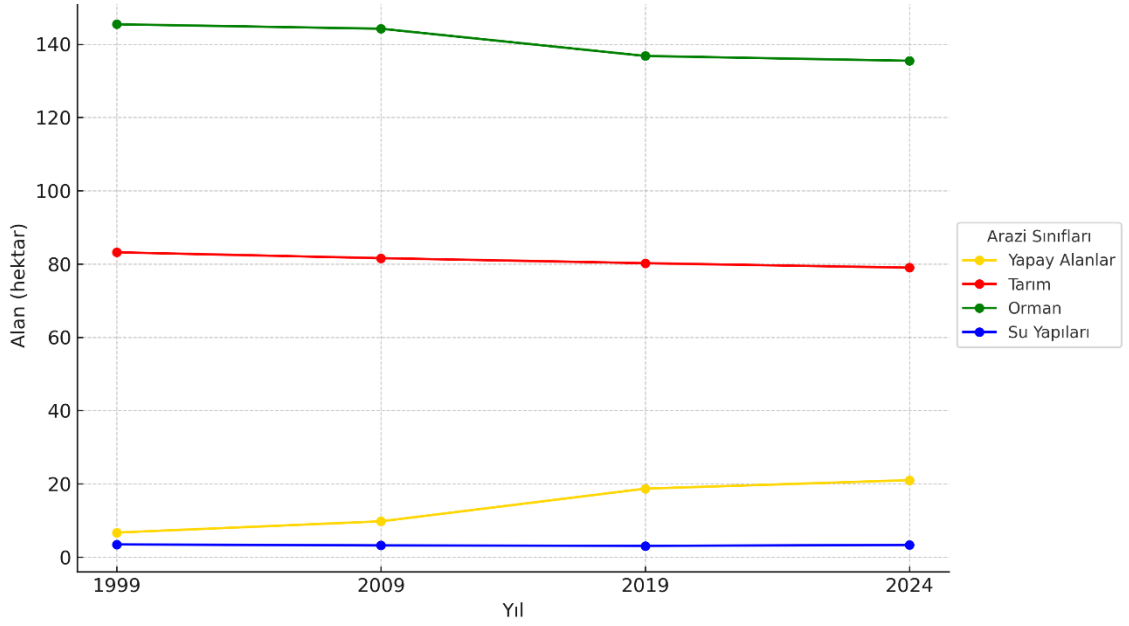
1999 yılında 6.697 hektar olarak hesaplanan yapay alanlar, 2024 yılına gelindiğinde 21 hektara ulaşmış ve bu süreçte %213,6 oranında bir artış kaydedilmiştir. Bu artış, büyük ölçüde kentleşme faaliyetlerinin ve yapısal gelişmelerin etkisiyle açıklanabilir. Yapay alanlardaki bu genişleme, doğal veya yarı-doğal alanlar üzerinde baskı oluşturmuş; özellikle tarım ve orman alanlarında küçülmelere yol açmıştır.

Tarım alanları 1999 yılında 83.186 hektar iken, 2024 yılında 79.000 hektara düşerek yaklaşık %5 oranında bir azalma göstermiştir.

Ormanlık alanlar da benzer şekilde 145.425 hektardan 135.456 hektara gerileyerek yaklaşık %6,9 oranında bir küçülme yaşamıştır. Bu değişim, hem doğal kaynakların sürdürülebilir yönetimi açısından hem de ekosistem hizmetlerinin devamlılığı bakımından dikkate değerdir.

Su yapıları sınıfında ise dönemsel olarak küçük dalgalanmalar gözlemlenmekle birlikte, 1999 yılında 3.462 hektar olan alan 2024 yılında 3.314 hektara düşmüştür. Bu azalma miktar olarak sınırlı olmakla birlikte, bölgedeki hidrolojik dengenin korunması açısından dikkatle izlenmesi gereken bir durumdur.

Genel olarak doğal bant kombinasyonu ile elde edilen görüntüye uygulanan sınıflandırma işleminden elde edilen bulgular, Düzce ilinde son 25 yıllık süreçte yapay yüzeylerin hızla arttığını, buna karşılık tarım ve orman gibi doğal arazi örtülerinin alansal olarak daraldığını ortaya koymaktadır. Bu sonuçlar, sürdürülebilir arazi kullanımı planlamasında ve çevresel koruma stratejilerinin geliştirilmesinde yol gösterici niteliktedir.

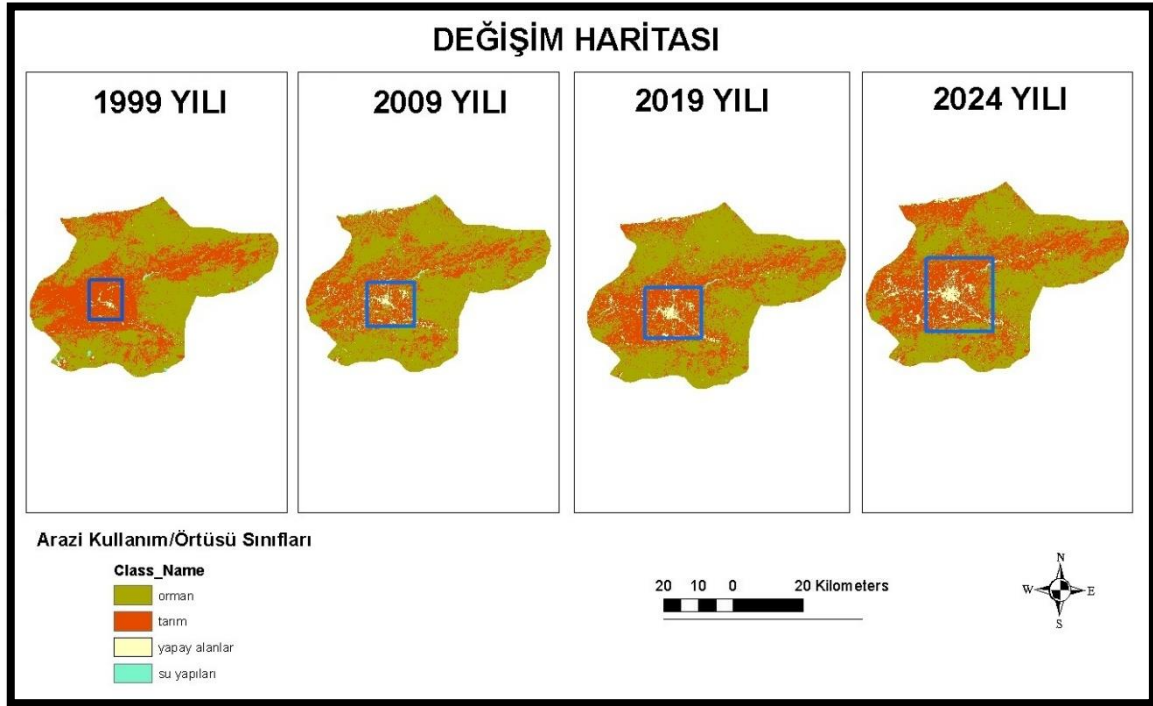


Şekil 4.7. 1999-2024 yılları arası arazi kullanım değişimi – Doğal Renk (ha)

Şekil 4.7 incelendiğinde, yapay alanların yıllar içinde belirgin bir artış gösterdiği, buna karşılık orman ve tarım alanlarında kademeli bir azalma meydana geldiği görülmektedir. Su yapıları ise dönem boyunca görece sabit kalmıştır. Bu eğilimler, bölgede kentleşmenin ve yapay yüzeylerin artışı desteklerken, doğal alanların zamanla daraldığını ortaya koymaktadır.

4.2.2. Sahte Renk Kentsel Bant Kombinasyonuna Göre Sınıflandırma Sonuçları ve Değişim Analizleri

Şekil 4.8’de 1999 yılı, 2009 yılı,2019 yılı ve 2024 yılına ait sahte renk kentsel bant kombinasyonu destek vektör makineleri yöntemine göre sınıflandırılmıştır. Sınıflandırma sonucunda yapay alanlarda artış gözlenirken tarım ve orman alanlarında azalma dikkat çekmektedir.



Şekil 4.8 Sahte renk kentsel bant kombinasyonuna göre sınıflandırılmış arazi örtüsü/ kullanım haritası

Çizelge 4.4’te sınıflandırma sonuçlarına göre, yapay alanlar 1999 yılında 5.408 hektar iken, 2024 yılında 12.444 hektara yükselmiş ve %130,1 oranında artış göstermiştir. Bu durum, kentleşmenin ve yapısal gelişmenin artışı açıkça ortaya koymaktadır. Aynı dönemde tarım alanlarında 101.328 hektardan 99.955 hektara düşüş yaşanmış, ancak bu azalma %1,4 gibi sınırlı bir oranda kalmıştır.

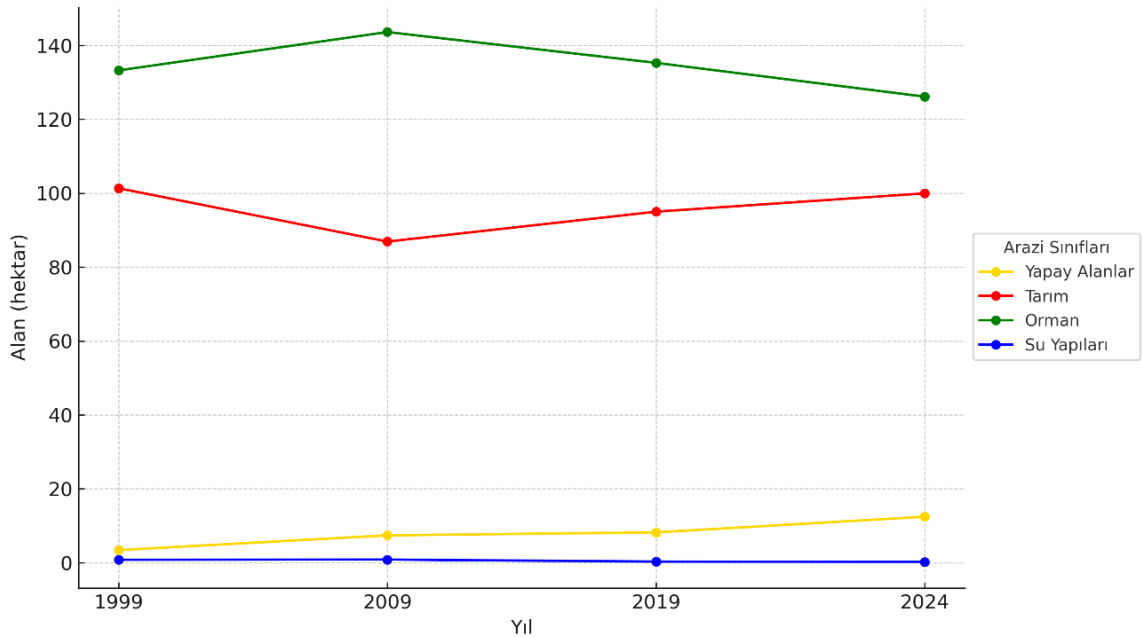
Çizelge 4.4. Sahte renk kentsel bant kombinasyonuna göre arazi kullanım/ örtüsü sınıflarının alansal dağılımı ve değişimler

Arazi Sınıfı	1999 (ha)	1999 (%)	2009 (ha)	2009 (%)	2019 (ha)	2019 (%)	2024 (ha)	2024 (%)	1999-2024 Değişim (ha)	1999-2024 Yüzde Değişim (%)
Yapay Alanlar	5.408	2,3	7.405	3.1	8.204	3.4	12.444	5.2	7.036	130.1
Tarım	101.328	42.4	86.904	36.4	94.995	39.8	99.955	41.9	-1.373	-1.4
Orman	131.234	55	143.609	60.1	135.271	56.7	126.124	52.8	-5.11	-3,9
Su Yapıları	0.8	0.3	0.85	0.4	0.301	0.1	0.246	0.1	-0.553	-69.3
Toplam	238.77	100%	238.77	100%	238.77	100%	238.77	100%		

Tarımsal alanların nispeten korunmuş olması, kırsal alan baskısına rağmen sürdürülebilir bir kullanım eğilimine işaret edebilir.

Ormanlık alanlar ise 1999’da 131.234 hektar iken 2024’te 126.124 hektara gerileyerek %3,9 oranında azalmıştır. Bu düşüş, yapay yüzeylerin genişlemesiyle birlikte ormanların maruz kaldığı baskıyı göstermektedir. Özellikle yapay alan artışının, orman ve tarım arazilerinde değişime sebep olmuştur.

Su yapıları sınıfı ise 0.800 hektardan 0.246 hektara düşerek %69,3 oranında ciddi bir küçülme göstermiştir. Bu düşüş, küçük alanlar üzerindeki büyük oransal değişimin göstergesi olup, hidrolojik dengenin dikkatle izlenmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

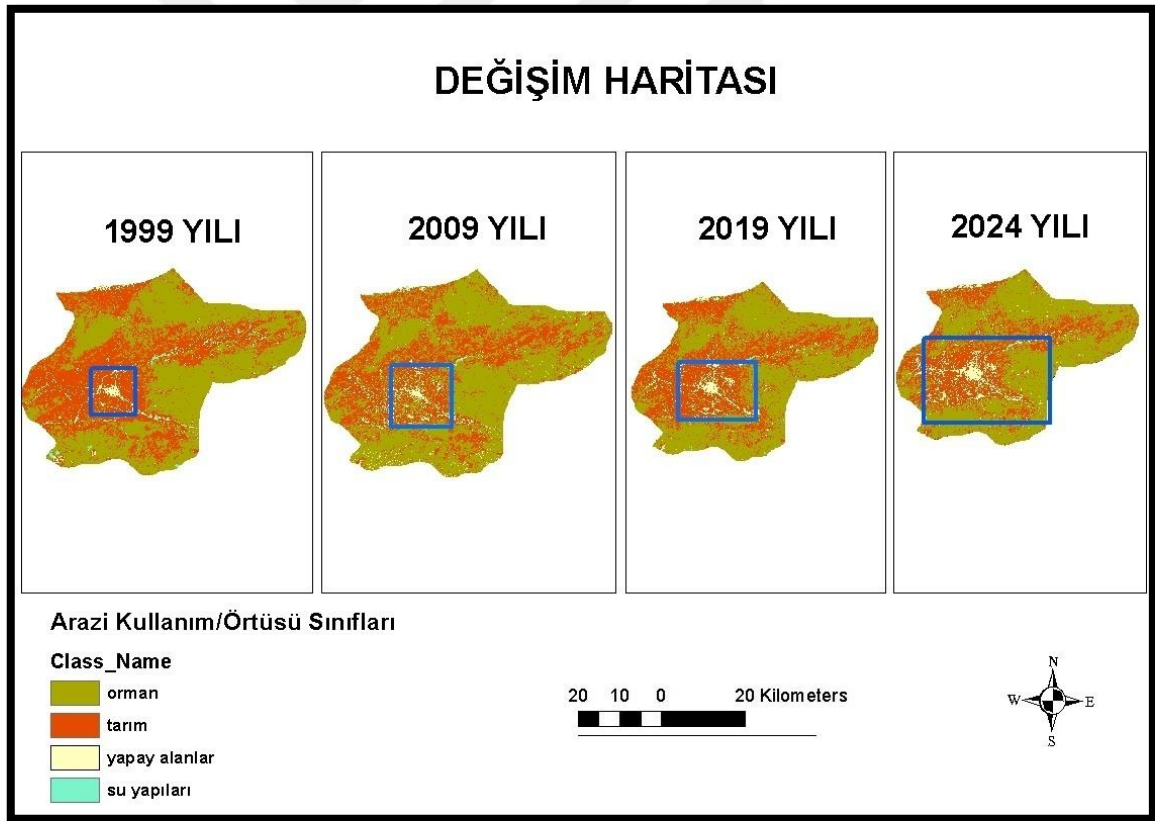


Şekil 4.9. 1999-2024 Yılları arası arazi kullanım değişimi – Sahte Renk Kentsel

Şekil 4.9’da Arazi kullanım yüzdeleri grafiksel olarak da incelendiğinde, yapay alanların eğrisinde sürekli bir artış gözlemlenirken, orman alanlarında ve su yapılarında azalan bir eğilim mevcuttur. Tarım alanları ise yıllar arasında dalgalanma göstermekle birlikte görece stabil kalmıştır. Bu eğilimler, bölgedeki arazi kullanımında insan etkisinin giderek arttığını ve doğal örtülerin yerini yapay yüzeylere bırakma eğiliminde olduğunu ortaya koymaktadır.

4.2.3. Sahte Renk Vejetasyon Bant Kombinasyonuna Göre Sınıflandırma Sonuçları ve Değişim Analizleri

Şekil 4.10’da 1999 yılı, 2009 yılı, 2019 yılı ve 2024 yılına ait sahte renk vejetasyon bant kombinasyonu destek vektör makineleri yöntemine göre sınıflandırılmıştır. Sınıflandırma sonucunda yapay alanlarda artış gözlenirken tarım, orman ve su yapılarında azalma dikkat çekmektedir.



Şekil 4.10. Arazi kullanım yüzdeleri

Çizelge 4.5’te görüldüğü gibi yapay alanlar, 1999 yılında 6,469 hektar iken 2024 yılında 13,781 hektara ulaşmıştır. Bu değişim, %113’lük bir artışı ifade etmektedir ve -

kentleşme, altyapı gelişimi ve nüfus artışına bağlı arazi dönüşümünü açıkça ortaya koymaktadır.

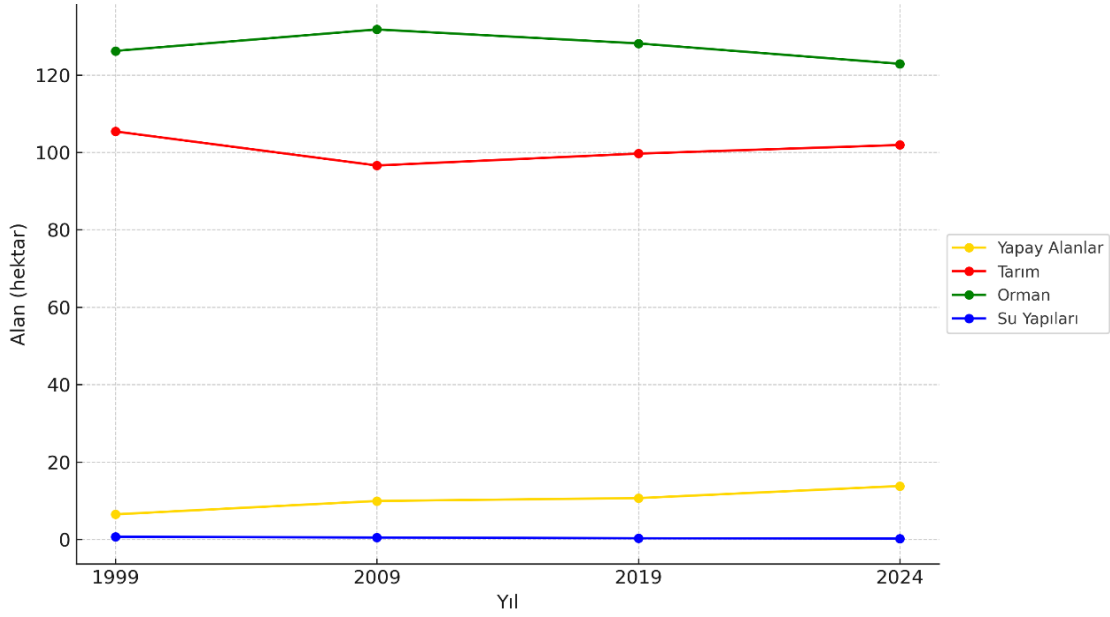
Çizelge 4.5. Sahte renk vejetasyon bant kombinasyonu arazi örtüsü/ kullanımı sınıflarının alansal dağılımı ve değişimler

<i>Arazi Örtüsü Sınıfı</i>	<i>1999 (ha)</i>	<i>1999 (%)</i>	<i>2009 (ha)</i>	<i>2009 (%)</i>	<i>2019 (ha)</i>	<i>2019 (%)</i>	<i>2024 (ha)</i>	<i>2024 (%)</i>	<i>1999-2024 Değişim (ha)</i>	<i>1999-2024 Yüzde Değişim (%)</i>
Yapay Alanlar	6.469	2.71	9.921	4.16	10.66	4.46	13.781	5.77	7.312	113.03
Tarım	105.396	44.1	96.607	40.46	99.676	41.75	101.902	42.68	-3.494	-3.32
Orman	126.217	52.9	131.761	55.18	128.149	53.67	122.885	51.47	-3.332	-2.64
Su Yapıları	0.686	0.29	0.477	0.2	0.286	0.12	0.202	0.08	-0.484	-70.55
Toplam	238.77	100%	238.77	100%	238.77	100%	238.77	100%		

Tarım alanları, zaman içerisinde dalgalı bir seyir izlemekle birlikte 1999 yılında 105,396 hektardan 2024 yılında 101,902 hektara gerilemiştir. Yaklaşık %3,3'lük bu azalma, kentsel yayılma ve ormanlık alan kazanımı ile ilişkilidir.

Orman alanları, çalışılan dönemde az da olsa gerilemiştir. 1999 yılında 126,217 hektar olan ormanlık alan, 2024 yılında 122,885 hektara düşmüş ve %2,6 oranında bir azalma göstermiştir. Bu durum, orman kaybının bölgesel ölçekte sınırlı da olsa mevcut olduğunu göstermektedir.

Su yapıları, 1999 yılındaki 0,686 hektarlık alandan 2024 yılına gelindiğinde 0,202 hektara kadar düşmüş, böylece yaklaşık %70,5 oranında önemli bir azalma meydana gelmiştir. Bu değişim, iklimsel kuraklık, dolgu çalışmaları ya da sınıflandırma anındaki mevsimsel farklardan kaynakladığı düşünülmektedir.



Şekil 4.11. 1999-2024 Yılları arası arazi kullanım değişimi – Sahte Renk Vejetasyon

Şekil 4.11’de dikkat çeken en belirgin eğilim, yapay alanların yıllar içinde düzenli şekilde artış göstermesidir. 1999 yılında yaklaşık 6,5 hektar olan yapay yüzeyler, 2024 yılına gelindiğinde 13,8 hektara ulaşmış ve bu sınıf %113 oranında genişlemiştir. Bu artış, kentsel yayılma ve yapılaşma baskısının zamansal etkisini açıkça yansıtmaktadır.

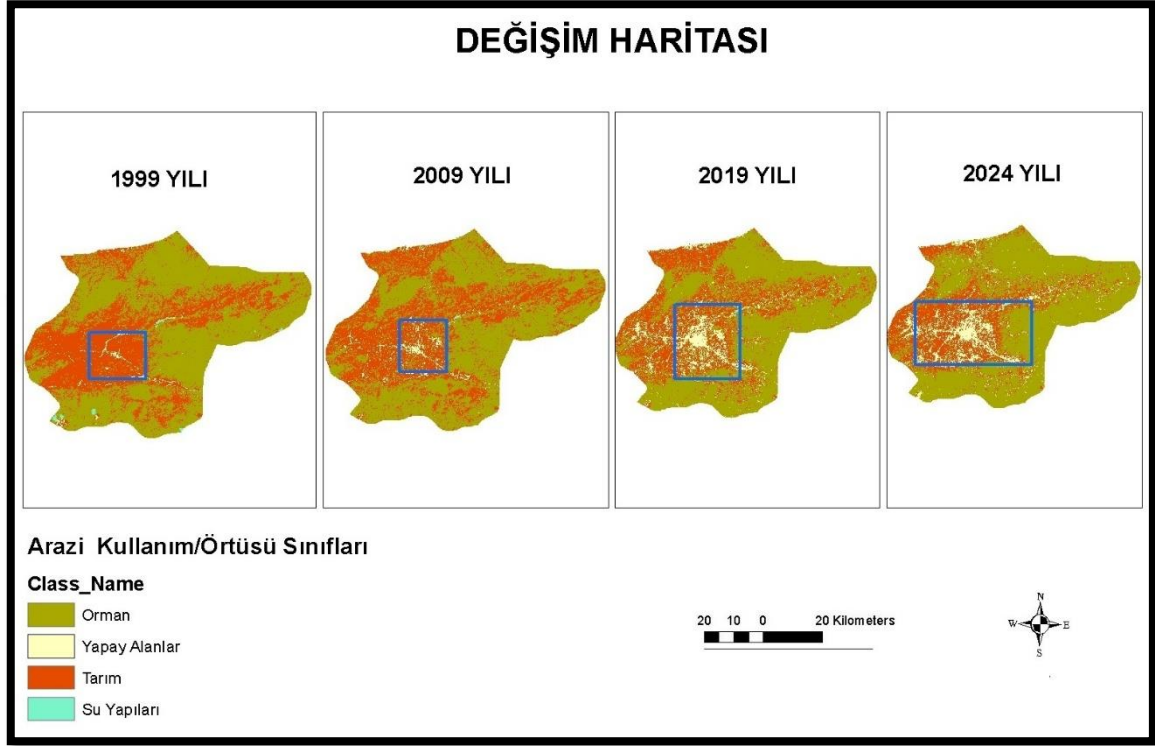
Orman alanları, çalışılan periyotta dalgalı bir seyir izlemiş, 2009 yılında en yüksek seviyeye ulaştıktan sonra tekrar düşüş eğilimi göstermiştir. 1999 yılında 126,2 hektar olan ormanlık alan, 2024’te 122,9 hektara inmiş ve yaklaşık %2,6’lık bir kayıp yaşanmıştır.

Tarım alanları ise görece olarak daha kararlı bir seyir izlemiş, dönemsel dalgalanmalar yaşasa da genel olarak hafif bir azalma eğilimindedir. 1999 yılında 105,4 hektar olan tarım arazileri, 2024 yılında 101,9 hektara düşerek %3,3’lük bir azalma göstermiştir.

Su yapıları sınıfı ise en keskin düşüşü sergileyen kategoridir. 1999 yılında 0,686 hektar olarak belirlenen su yüzeyleri, 2024 yılına gelindiğinde yalnızca 0,202 hektar olarak sınıflandırılmış ve bu sınıfta %70’i aşan bir azalma meydana gelmiştir. Bu durum, bölgedeki su kaynaklarının azalmakta olduğunu ya da sınıflandırma zamanlamasında mevsimsel etkilerin rol oynadığını düşündürmektedir.

4.2.4. Temel Bileşen Analizine Göre Sınıflandırma Sonuçları ve Değişim Analizleri

Şekil 4.12’de 1999 yılı, 2009 yılı, 2019 yılı ve 2024 yılına ait temel bileşen analizi uygulanmış ve destek vektör makineleri yöntemine göre sınıflandırılmıştır. Sınıflandırma sonucunda yapay alanlarda artış tarım, orman ve su yapılarında azalma gözlenmiştir.



Şekil 4.12. Arazi kullanım yüzdeleri

Çizelge 4.6’da görüldüğü gibi 1999 yılından 2024 yılına kadar geçen 25 yıllık süreçte, Düzce ilinde arazi kullanımında dikkat çeken değişimler yaşanmıştır. En çarpıcı artış yapay alanlarda gözlemlenmiştir. 1999 yılında 6.469 hektar olan yapay alanlar, 2024 yılında 13.781 hektara ulaşarak %113,03 oranında bir artış göstermiştir. Bu durum, kentleşme, sanayileşme ve altyapı faaliyetlerinin hız kazandığını, doğal alanların giderek daha fazla yapılaşmaya açıldığını göstermektedir.

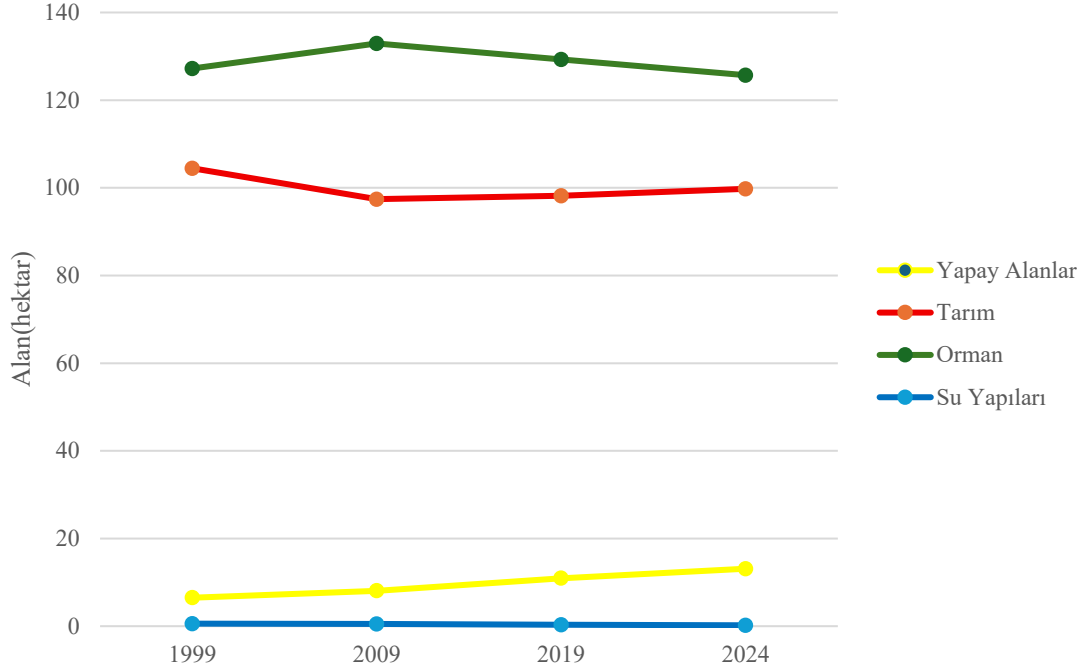
Çizelge 4.6. Temel bileşen analizine göre arazi örtüsü/ kullanımı sınıflarının alansal dağılımı ve değişimler

<i>Arazi Örtüsü Sınıfı</i>	<i>1999 (ha)</i>	<i>1999 (%)</i>	<i>2009 (ha)</i>	<i>2009 (%)</i>	<i>2019 (ha)</i>	<i>2019 (%)</i>	<i>2024 (ha)</i>	<i>2024 (%)</i>	<i>1999-2024 Değişim (ha)</i>	<i>1999-2024 Yüzde Değişim (%)</i>
Yapay Alanlar	6.469	2.71	9.921	4.16	10.66	4.46	13.781	5.77	7.312	113.03
Tarım	105.396	44.1	96.607	40.46	99.676	41.75	101.902	42.68	-3.494	-3.32
Orman	126.217	52.9	131.761	55.18	128.149	53.67	122.885	51.47	-3.332	-2.64
Su Yapıları	0.686	0.29	0.477	0.2	0.286	0.12	0.202	0.08	-0.484	-70.55
Toplam	238.77	100%	238.77	100%	238.77	100%	238.77	100%		

Tarım alanlarında ise 3,494 hektarlık bir azalma meydana gelmiştir. Yüzde olarak değerlendirildiğinde bu azalma %3,32 oranında gerçekleşmiştir. Tarım alanlarının bu şekilde azalması hem nüfus baskısı hem de kırsal alanların yapılaşmaya dönüşmesiyle ilişkilendirilebilir. Bu durum, kırsal kalkınma politikalarının etkisizliğini ya da tarımın ekonomik cazibesini yitirmesini işaret edebilir.

Orman alanlarında ise nispeten daha sınırlı bir azalma söz konusudur. 1999 yılında 126.217 hektar olan orman varlığı, 2024 yılına gelindiğinde 122.885 hektara gerilemiş ve toplamda 3,332 hektarlık bir kayıp yaşanmıştır. Bu azalma, doğrudan yapılaşma baskısı, tarım alanına dönüştürme faaliyetleri veya doğal tahribatlar (yangın, heyelan vb.) ile açıklanabilir.

En dikkat çekici düşüş su yapılarında meydana gelmiştir. 1999 yılında 0.686 hektar olan su yüzeyleri, 2024 yılında 0.202 hektara düşmüş ve toplamda %70,55 oranında kayıp yaşanmıştır.



Şekil 4.11. 1999- 2024 yılları arasında Düzce Arazi örtüsü değişimi-Temel Bileşen Analizi (ha)

Sonuç olarak, 1999–2024 yılları arasında Düzce ilinde yapay alanların hızla arttığı, buna karşın doğal ve yarı-doğal alanların azaldığı görülmektedir.

4.3. Doğruluk Analizleri

Bu çalışmada sınıflandırma sonuçlarının güvenilirliğini değerlendirmek amacıyla kapsamlı bir doğruluk analizi gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda her bir yıl için oluşturulan tematik haritalar, bağımsız kontrol noktaları ile karşılaştırılarak hata matrisi oluşturulmuş ve buna bağlı olarak kullanıcı doğruluğu, üretici doğruluğu genel doğruluk ve kappa katsayısı, gibi temel istatistiksel metrikler hesaplanmıştır. Genel doğruluk oranı, tüm sınıflardaki doğru sınıflandırılan piksellerin toplam içindeki oranını gösterirken; kappa katsayısı, doğruluğu rastlantısal uyumdan arındırılmış biçimde değerlendirmektedir. Buna ek olarak, her bir sınıf için ayrı ayrı hesaplanan kullanıcı doğruluğu, sınıflandırılmış piksellerin ne kadarının gerçekten o sınıfa ait olduğunu; üretici doğruluğu ise o sınıfa ait gerçek piksellerin ne kadarının doğru sınıflandırıldığını göstermektedir. Bu detaylı yaklaşım sayesinde, özellikle spektral olarak benzer sınıflar (örneğin tarım, orman ve yapay alanlar) arasındaki karışmaların tespitini sağlamıştır. Sınıflandırma doğruluğu daha objektif şekilde değerlendirilmiştir (Foody, 2002).

Kontrollü sınıflandırma yöntemiyle elde edilen 1999, 2009, 2019 ve 2024 yıllarına ait tematik görüntülerin doğruluğunu değerlendirmek amacıyla doğruluk analizi

gerçekleştirilmiştir. Her bir yıl için toplam 200 kontrol noktası belirlenmiş olup, bu noktalar arazi örtüsü sınıfları arasında dengeli bir şekilde dağıtılmıştır. Her sınıfa 50 kontrol noktası gelecek biçimde seçim yapılmış, kontrol noktası atanmıştır. Bu yaklaşım, sınıflandırma sonuçlarının doğruluğunun istatistiksel olarak daha güvenilir şekilde değerlendirilmesini sağlamaktadır.

Kontrol noktaları, uydu görüntüleri üzerinde görsel yorumlama yoluyla alan bilgisine dayalı olarak manuel biçimde belirlenmiş ve vektör veri formatında oluşturulmuştur. Bu noktalar, sınıflandırılmış tematik haritalarla karşılaştırılarak hata matrisi, kullanıcı ve üretici doğrulukları ile kappa katsayısı gibi metrikler üzerinden doğruluk analizi yapılmıştır.

4.3.1. Doğal Renk Bant Kombinasyonu Doğruluk Analizi

Kullanıcı doğruluğu (User's Accuracy), üretici doğruluğu (Producer's Accuracy), genel doğruluk oranı (Overall Accuracy) ve kappa katsayısı (Kappa Coefficient) değerleri kullanılarak yapılan bu değerlendirmeler, sınıflandırmanın hangi yıllarda ve hangi sınıflarda daha başarılı ya da daha zayıf olduğunu ortaya koymaktadır.

Çizelge 4.7. Doğal renk ile sınıflandırma doğruluk analizi

<i>Arazi Kullanım Sınıfı</i>	<i>1999 Üretici (%)</i>	<i>1999 Kullanıcı (%)</i>	<i>2009 Üretici (%)</i>	<i>2009 Kullanıcı (%)</i>	<i>2019 Üretici (%)</i>	<i>2019 Kullanıcı (%)</i>	<i>2024 Üretici (%)</i>	<i>2024 Kullanıcı (%)</i>
Yapay Alanlar	91%	91 %	96%	96%	77%	100%	85%	96%
Tarım	91%	91 %	94%	91%	83%	85%	74%	80%
Orman	97%	92 %	93%	79%	98%	74%	100%	92%
Su Yapıları	94%	91 %	70%	87%	75%	86%	88%	76%
Genel Doğruluk	92	–	88		84		86	–
Kappa Katsayısı	89	–	83		79		82	–

Çizelge 4.7’de sunulan sonuçlara göre, çalışmada gerçekleştirilen arazi kullanım sınıflandırmasına ilişkin doğruluk analizleri, sınıflandırma modelinin zamansal olarak gösterdiği performansın güvenilirliğini değerlendirmek amacıyla detaylı olarak incelenmiştir.

1999, 2009, 2019 ve 2024 yıllarına ait veriler dikkate alındığında, genel doğruluk oranlarının %84 ile %92 arasında değiştiği, kappa katsayısının ise %79 ile %89 arasında seyrettiği görülmektedir. Bu veriler, sınıflandırmanın genel anlamda yüksek bir doğrulukla gerçekleştirildiğini göstermektedir. Özellikle 1999 yılı sınıflandırmasında elde edilen %92 genel doğruluk ve %89 kappa katsayısı, modelin dönemin görüntü özelliklerine ve örnekleme kalitesine duyarlı ve tutarlı bir biçimde çalıştığını ortaya koymaktadır.

Arazi örtüsü sınıfları bazında değerlendirildiğinde, yapay alanların tüm yıllarda kullanıcı doğruluğunun yüksek olduğu ve bu sınıfın model tarafından güvenilir bir şekilde tanımlanabildiği dikkat çekmektedir. Bu durum, yapay alanların spektral özelliklerinin diğer sınıflardan daha belirgin olması ve sınırlı spektral karışma göstermesi ile açıklanabilir. Özellikle 2009 yılında %96 üretici doğruluğu, %96 kullanıcı doğruluğu elde edilmesi, bu sınıfın model tarafından oldukça başarılı bir şekilde sınıflandırıldığını göstermektedir.

Orman alanları, 2019'da %98, 2024'te %100 olmak üzere yüksek üretici doğruluğuna sahiptir. 2019 yılında kullanıcı doğruluğu %74 olarak görülmektedir. Bu durum farklı sınıflarla spektral karışımlar yaşadığı anlamına gelmektedir. Genç orman arazisinin varlığı, fındıklıkların sık olması bu spektral karışımlara sebep olabilmektedir.

Tarım alanları, yıllar içerisinde doğruluk açısından dalgalı bir seyir izlemiştir. 1999 ve 2009 yıllarında %90'ın üzerinde hem üretici hem kullanıcı doğrulukları elde edilmişken, 2019 ve 2024 yıllarında bu oranlar sırasıyla %81–85 ve %74–80 seviyelerine düşmüştür. Bu azalma, tarım alanlarının yıl içerisindeki fenolojik farklılıklarından kaynaklanabileceği gibi, sınıflandırma sırasında bu alanların diğer açık arazi türleriyle (örneğin boş araziler, çayırlar) karışmasından da kaynaklanmaktadır.

Su yapıları sınıfında yıllara göre değişen doğruluk düzeyleri görülmektedir. 1999 yılında %94 ve 2024 %88 üretici doğruluğu oranlarına ulaşıldığı gözükmektedir. Bu sınıf görece dengeli ve yüksek doğruluklar göstermiştir. Ancak 2009 ve 2019 yıllarında üretici doğruluk oranları %70'lerde kalmıştır. Kullanıcı doğruluğu ise bazı yıllarda üretici doğruluğunu aşmış ve sınıflandırma çıktılarının yorumlanabilirliğini artırmıştır. Burada sığ su kütleleri koyu renk çıkması kaynaklı yapay alan olarak yansıma gösterebilir.

Sonuç olarak, doğruluk analizi bulguları, dört farklı yılda yapılan sınıflandırmaların büyük ölçüde güvenilir ve yorumlanabilir olduğunu, özellikle yapay alanlar ve tarım sınıfında yüksek başarı sağlandığını, ancak orman ve su yapıları gibi sınıflarda dönemsel hassasiyetlere dikkat edilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Bu

bağlamda, sınıflandırma sonuçları hem zamansal değişim analizleri hem de planlama amaçlı değerlendirmeler için uygun bir temel sunmaktadır.

4.3.2. Sahte Renk Kentsel Bant Kombinasyonu Doğruluk Analizi

Çalışmada kullanılan sınıflandırma yönteminin güvenilirliğini değerlendirmek amacıyla, her bir yıl için üretici doğruluğu, kullanıcı doğruluğu, genel doğruluk ve Kappa katsayısı hesaplanmıştır. Analiz sonuçları, sınıflandırmanın farklı yıllarda genel olarak yüksek düzeyde başarı sağladığını göstermektedir.

Çizelge 4.8. Sahte renk kentsel ile sınıflandırma doğruluk analizi

<i>Arazi Kullanım Sınıfı</i>	<i>1999 Üretici (%)</i>	<i>1999 Kullanıcı (%)</i>	<i>2009 Üretici (%)</i>	<i>2009 Kullanıcı (%)</i>	<i>2019 Üretici (%)</i>	<i>2019 Kullanıcı (%)</i>	<i>2024 Üretici (%)</i>	<i>2024 Kullanıcı (%)</i>
Yapay Alanlar	94%	92 %	87%	96%	96%	94%	94%	94%
Tarım	98%	94 %	91%	96%	96%	96%	94%	94%
Orman	73%	98 %	91%	98%	79%	98%	71%	92%
Su Yapıları	97%	70 %	95%	72%	92%	72%	97%	70%
Genel Doğruluk	89	–	91		90		88	–
Kappa Katsayısı	85	–	87		87		83	–

Çizelge 4.8’de sunulan sonuçlara göre, çalışmada gerçekleştirilen arazi kullanım sınıflandırmasına ilişkin doğruluk analizleri, sınıflandırma modelinin zamansal olarak gösterdiği performansın güvenilirliğini değerlendirmek amacıyla detaylı olarak incelenmiştir.

Yapay alanlar sınıfında tüm yıllarda üretici ve kullanıcı doğruluğu %87 ile %96 arasında değişmekte olup, özellikle 2019 ve 2024 yıllarında yüksek doğruluk oranları (%94 ve üzeri) elde edilmiştir. Bu durum, yapay yüzeylerin spektral özelliklerinin sınıflandırma algoritması tarafından tutarlı bir şekilde tanımlandığını göstermektedir.

Tarım alanları, genel olarak yüksek doğruluk değerlerine sahiptir. Üretici doğruluğu 1999 yılında %98 ile en yüksek seviyeye ulaşmış, sonraki yıllarda %91–96 aralığında kalmıştır. Kullanıcı doğruluğu da tüm yıllarda %94 ile %96 arasında sabit

seyretmiştir. Bu veriler, tarım alanlarının sınıflandırmada istikrarlı bir şekilde tanımlanabildiğini ortaya koymaktadır.

Ormanlık alanlar ise özellikle 1999 ve 2024 yıllarında üretici doğruluğunun görece düşük (%73 ve %71) olmasına karşın, kullanıcı doğruluğunun %92 ve üzeri olduğu görülmektedir. Bu durum, orman sınıfının yanlış sınıflandırılma oranının sınırlı olduğunu, ancak bazı gerçek orman alanlarının farklı sınıflara atanmış olabileceğini göstermektedir. Aynı zamanda yüksek ve eğimli ormanlık alanlarda gölgeli alanlar yapay alanlar ile karışabilmektedir. 2009 yılında hem üretici hem kullanıcı doğruluğu %91 ve %98 ile dikkat çekici şekilde yüksektir.

Su yapıları sınıfında doğruluk oranları yıllar içinde dalgalanma göstermiştir. 1999 ve 2024 yıllarında üretici doğruluğu oldukça yüksek (%97), buna karşın kullanıcı doğruluğu daha düşük (%70) kalmıştır. Bu fark, su yüzeylerinin diğer sınıflarla karışma eğiliminde olduğunu, özellikle küçük su kütlelerinin sınıflandırmada zorluk yaratabileceğini işaret etmektedir. Ayrıca sulak alanlarda buluna yoğun sazlıklar spektral yansıtım olarak yanıltıcı sonuçlar verebilmektedir.

Genel doğruluk oranları, sınıflandırma işleminin genel başarısını değerlendirmek açısından önemli bir göstergedir. 1999 yılında %89 olan genel doğruluk, 2009'da %91'e yükselmiş, 2019'da %90 ve 2024 yılında ise %88 olarak hesaplanmıştır. Bu değerler, tüm yıllarda sınıflandırmanın kabul edilebilir düzeyde olduğunu göstermektedir.

Kappa katsayısı ise sınıflandırma ile rastgele yapılan bir sınıflandırma arasındaki farkı ortaya koyan istatistiksel bir ölçüttür. 1999 yılında Kappa katsayısı %85 olarak belirlenmiş, 2009 ve 2019 yıllarında bu oran sırasıyla %87 ve %90'a ulaşmıştır. 2024 yılında ise %83 ile nispeten düşük bir değere gerilemiştir. Bu durum, 2024 yılına ait sınıflandırmada bazı sınıflar arası karışmaların yaşandığını ve sınıflandırma doğruluğunun sınırlı düzeyde azaldığını göstermektedir.

Genel olarak elde edilen doğruluk ölçütleri, kullanılan sınıflandırma yönteminin güvenilirliğini ortaya koymakta ve zamansal değişim analizinin sağlam temellere dayandığını desteklemektedir.

4.3.3. Sahte Renk Vejetasyon Bant Kombinasyonu Doğruluk Analizi

Çalışmada farklı yıllara ait arazi kullanım sınıflarının doğruluğunu değerlendirmek amacıyla üretici ve kullanıcı doğruluğu metrikleri kullanılmıştır. Ayrıca

genel doğruluk (overall accuracy) ve Kappa katsayısı da sınıflandırma başarısını daha bütüncül değerlendirmek için hesaplanmıştır.

Çizelge 4.9. Sahte renk vejetasyon ile sınıflandırma doğruluk analizi

<i>Arazi Kullanım Sınıfı</i>	<i>1999 Üretici (%)</i>	<i>1999 Kullanıcı (%)</i>	<i>2009 Üretici (%)</i>	<i>2009 Kullanıcı (%)</i>	<i>2019 Üretici (%)</i>	<i>2019 Kullanıcı (%)</i>	<i>2024 Üretici (%)</i>	<i>2024 Kullanıcı (%)</i>
Yapay Alanlar	100%	92 %	87%	96%	100%	94%	92%	99%
Tarım	98%	98 %	96%	98%	96%	94%	98%	98%
Orman	84%	94 %	98%	92%	84%	98%	98%	96%
Su Yapıları	88%	84 %	96%	90%	100%	90%	98%	96%
Genel Doğruluk	92	–	94		95		97	–
Kappa Katsayısı	89	–	92		93		95	–

Çizelge 4.9’da sunulan sonuçlara göre, çalışmada gerçekleştirilen arazi kullanım sınıflandırmasına ilişkin doğruluk analizleri, sınıflandırma modelinin zamansal olarak gösterdiği performansın güvenilirliğini değerlendirmek amacıyla detaylı olarak incelenmiştir.

Yapay alanlar sınıfında, 1999 yılında üretici doğruluğu %100 ve kullanıcı doğruluğu %92 olarak belirlenmiştir. Bu durum, sınıflandırma algoritmasının gerçek yapay alanları başarıyla tanıdığını, ancak bazı farklı sınıfların bu kategoriye dahil edildiğini göstermektedir. 2024 yılına gelindiğinde kullanıcı doğruluğu %96’ya ulaşmış, bu da sınıflandırma modelinin zamanla yapay alanları tanıma kabiliyetinde önemli bir iyileşme olduğunu ortaya koymaktadır. Üretici doğruluğunun ise %92 olarak belirlenmiştir.

Tarım alanları her dört yılda da hem üretici hem kullanıcı doğruluğu bakımından yüksek tutarlılık göstermiştir (%94–98 aralığında). Bu, tarım alanlarının spektral yansımalarının diğer sınıflardan daha belirgin ayırt edilebildiğini göstermekte ve sahte renk vejetasyon ve bant kombinasyonunda yapılan sınıflandırma işleminde sınıfları başarıyla tanımladığını göstermektedir.

Ormanlık alanlar, özellikle 1999 ve 2019 yıllarında üretici doğruluğu %84 olarak belirlenmiş olup, bu yıllarda sınıflandırma sürecinde orman sınıfının diğer sınıflarla

spektral benzerlik gösterdiği anlaşılmaktadır. Ancak kullanıcı doğruluğunun tüm yıllarda yüksek seviyelerde seyretmesi (%92–98) sınıflandırma sonucunda orman olarak tanımlanan alanların çoğunun gerçekten ormanlık alan olduğunu göstermektedir.

Su yapıları sınıfı için ise doğruluk oranları genel olarak yüksek olup, özellikle 2019 yılında üretici doğruluğu %100'e ulaşmıştır. Bu, modelin o yıl içerisinde tüm gerçek su alanlarını eksiksiz tanımladığını göstermektedir. Kullanıcı doğruluğunun ise %84 ile %96 arasında değişmesi, sınıflandırma sonucunda su yapısı olarak belirlenen bazı alanlarda zaman zaman farklılık olabileceğini işaret etmektedir. Uydu görüntüleri yılın aynı tarihi seçilmiş ise de küresel ısınmanın etkisinde değişimlerin olabileceğini göstermektedir.

Sınıflandırma başarısını genel anlamda değerlendirmek amacıyla hesaplanan genel doğruluk değerleri, yıllar içinde artış göstermiştir. 1999 yılında %92 olan bu oran, 2024 yılına gelindiğinde %97'ye ulaşmıştır. Bu artış, sınıflandırma yönteminin ve kullanılan bant kombinasyonlarının zaman içinde daha etkin sonuçlar verdiğini göstermektedir. Benzer şekilde, Kappa katsayısının 1999'da %89 iken 2024'te %95'e yükselmesi, sınıflandırmanın uydu görüntüsündeki kalitenin zamanla artmasından kaynaklandığını desteklemektedir.

4.3.4. Temel Bileşen Analizi ile Sınıflandırma Doğruluk Analizi

Çalışmada 1999, 2009, 2019, 2024 yıllarına ait sınıflandırma sonuçlarının güvenilirliğini değerlendirmek amacıyla üretici doğruluğu, kullanıcı doğruluğu, genel doğruluk oranı ve Kappa katsayısı kullanılmıştır.

Çizelge 4.10 Temel bilişen analizi ile sınıflandırma doğruluk analizi

<i>Arazi Kullanım Sınıfı</i>	<i>1999 Üretici (%)</i>	<i>1999 Kullanıcı (%)</i>	<i>2009 Üretici (%)</i>	<i>2009 Kullanıcı (%)</i>	<i>2019 Üretici (%)</i>	<i>2019 Kullanıcı (%)</i>	<i>2024 Üretici (%)</i>	<i>2024 Kullanıcı (%)</i>
Yapay Alanlar	82%	94 %	85%	94%	85%	94%	87%	96%
Tarım	88%	90 %	87%	92%	87%	94%	90%	94%
Orman	96%	90 %	92%	88%	96%	88%	96%	90%
Su Yapıları	98%	86 %	93%	86%	92%	88%	92%	88%
Genel Doğruluk	91	–	90		91		92	–
Kappa Katsayısı	87	–	87		88		89	–

Çizelge 4.10’da dört dönem için yapılan analizlerde genel doğruluk oranı sırasıyla 1999 yılı için %91, 2009 yılı için %90, 2019 yılı için %91 ve 2024 yılı için %92 olarak tespit edilmiştir. Kappa katsayısı ise sırasıyla %87, %87, %88 ve %89 değerlerine ulaşmıştır. Bu değerler, sınıflandırma sonuçlarının yüksek doğrulukta olduğunu ve rastlantısal sınıflandırmalardan önemli ölçüde ayrıldığını göstermektedir.

Sınıf bazında değerlendirildiğinde, orman ve su yapıları sınıfları tüm yıllarda en yüksek üretici doğruluğuna sahip gruplar olmuştur. Orman sınıfı 1999 ve 2024 yıllarında %96 üretici doğruluğuna ulaşırken, su yapıları 1999 yılında %98 doğruluk değeriyle zirveye ulaşmıştır. Bu durum, bu sınıfların spektral özelliklerinin diğer sınıflardan daha belirgin ayrıldığına işaret etmektedir.

Yapay alanlar, kullanıcı doğruluğu açısından yıllar içinde artış göstermiş ve 2024 yılında %96’ya ulaşmıştır. Bu artış, sınıflandırma algoritmasının özellikle kentsel alanları ayırt etme başarısının uydu görüntüsü kalitesi artıkça geliştiğini ortaya koymaktadır.

Tarım alanları ise tüm dönemlerde dengeli ve yüksek doğruluk değerleriyle temsil edilmiştir. 2024 yılına gelindiğinde üretici doğruluğu %90, kullanıcı doğruluğu ise %94 olarak ölçülmüştür. Bu değerler, tarım arazilerinin hem üretici hem kullanıcı açısından güvenilir biçimde sınıflandırıldığını göstermektedir.

Genel olarak, dört dönem için yapılan sınıflandırmalarda hem genel doğruluk oranlarının hem de Kappa katsayısının yüksek olması, verilerin sınıflandırılmasında uygulanan yöntemlerin güvenilirliğini ve modelin başarımını desteklemektedir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Bu tez kapsamında, Düzce ili sınırları içerisinde 1999, 2009, 2019 ve 2024 yıllarına ait arazi kullanım ve arazi örtüsü değişimleri uzaktan algılama teknikleri ve Coğrafi Bilgi Sistemleri yardımıyla analiz edilmiştir. Çalışmada Landsat uydu verileri kullanılmış; doğal rengi ön plana çıkaran doğal renk, kentsel alanları vurgulayan sahte renk kentsel, vejetatif özellikleri öne çıkaran sahte renk vejetasyon bant kombinasyonları ile temel bileşen analizi uygulanmış haritalar üzerinden hem görsel hem de sayısal değerlendirmeler yapılmıştır. Görüntüler üzerinde sınıflandırma işlemleri ise destek vektör makineleri algoritması kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Çalışmada yapılan doğruluk analizi sonuçlarına göre Düzce İli için temel bileşen analizi ile zenginleştirilen uydu görüntüsüne yapılan sınıflandırmada sonuçlar oldukça yüksek çıkmıştır. Sonuçları sırasıyla sahte renk vejetasyon, sahte renk kentsel, doğal renk bant kombinasyonları izlemiştir.

Yapılan analizler sonucunda, yapay alanların zaman içinde ciddi bir artış gösterdiği, buna karşın tarım ve orman alanlarında azalma yaşandığı net bir şekilde ortaya konmuştur. Özellikle Sahte renk kentsel kombinasyonuna göre, yapay yüzeylerde %130'un üzerinde bir artış tespit edilmiştir. Bu durum, kentsel yayılmanın hızlandığını ve doğal alanların giderek daraldığını göstermektedir. Ayrıca su yüzeylerinde de göz ardı edilemeyecek düzeyde bir azalma meydana gelmiştir.

Elde edilen bulgular ışığında dikkat çeken bir diğer önemli konu ise Düzce Ovası'nın yasal koruma altında olmasına rağmen şehirleşme baskısı altında kalmaya devam etmesidir. 21.11.2016 tarihli ve 12636 sayılı yazı doğrultusunda, 5403 sayılı Toprak Koruma ve Arazi Kullanımı Kanunu'nun 14. maddesi uyarınca Bakanlar Kurulu kararıyla "Düzce Ovası" koruma altına alınmış olsa da 1999–2024 dönemine ait analizler bu alandaki tarım alanlarının azaldığını ve yerlerini büyük ölçüde yapay yüzeylere bıraktığını ortaya koymuştur. Bu durum, mevzuatın uygulamada yeterince etkin olmadığını ya da denetim mekanizmalarının yetersiz kaldığını göstermektedir.

Düzce ili, zengin orman varlığıyla Türkiye'nin orman ekosistemi açısından önemli illerinden biri konumundadır. Bu doğal kaynakların korunması ve sürdürülebilir biçimde yönetilmesi amacıyla, ülkede geçerli olan çeşitli yasal düzenlemeler çerçevesinde uygulamalar yürütülmektedir. Başta 6831 sayılı Orman Kanunu olmak

üzere, 5403 sayılı Toprak Koruma ve Arazi Kullanımı Kanunu, 2873 sayılı Milli Parklar Kanunu ile 2872 sayılı Çevre Kanunu, Düzce'deki ormanlık alanların korunması ve yönetimi konusunda temel mevzuat yapısını oluşturmaktadır. Bu düzenlemelere ek olarak, Demirci önu Tabiat Koruma Alanı gibi belirli bölgelerde koruma çalışmaları, mevzuata dayalı özel statülerle desteklenmektedir.

Aynı zamanda, yapılan arazi kullanım analizleri ve saha gözlemleri, mevcut yasal çerçeveye rağmen orman alanlarının çeşitli tehditlerle karşı karşıya kaldığını ortaya koymaktadır. Özellikle yapılaşma baskısı altında kalmıştır.

Düzce ilinde Büyük Melen, Küçük Melen, Uğur suyu, Asar Suyu, Aksu Deresi su kütlelerine sahiptir. Yapılan analizlerde su yapılarındaki azalış dikkat çekmektedir. Düzce de zamanla şehirleşmenin ve nüfusun hızla artmasıyla su kaynaklarının azalması dikkat edilmesi gereken bir noktadır. Bu su kaynaklarından mega kent olan İstanbul'a su sağlanması planı göz önüne alınırsa bu azalış dikkat edilmesi gereken bir husustur.

Sonuç olarak, bu çalışma Düzce ili özelinde kentsel gelişimin çevresel etkilerini hem sayısal veriler hem de mekânsal analizlerle ortaya koymuştur. Arazi örtüsü sınıflarının yıllar içindeki değişimlerinin detaylı biçimde analiz edilmesiyle, kentleşmenin hangi alanlar pahasına genişlediği net bir biçimde ortaya konmuştur. Bu bulgular, sadece çevresel sürdürülebilirlik açısından değil, aynı zamanda planlama, mevzuatın uygulanabilirliği ve doğal kaynak yönetimi açısından da dikkate alınması gereken önemli sonuçlar sunmaktadır.

5.2. Öneriler

Optik uydu verileri ile yapılan sınıflandırma yöntemleri, elde edilen tematik haritaların doğruluk düzeyini doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle çalışmanın amacına uygun olarak, görüntülerin mekânsal ve spektral çözünürlüğü ile arazi örtüsünün çeşitliliği göz önünde bulundurularak uygun yöntem ve yüksek çözünürlüklü veri seçiminin yapılması önerilmektedir.

Su yapılarında azalış bütün sınıflandırmalarda görülmesine rağmen oranların farklı çıktığı görülmüştür. Su yapılarının daha ayrıntılı incelenmesi için su ve nem içeriğine uygun NDWI (Normalized Difference Water Index), MNDWI (Modified Normalized Difference Water Index) bant indeksleri kullanılabilir.

Düzce ili, sahip olduğu yüksek verimli tarım arazileri nedeniyle konumu itibarıyla önemli tarımsal üretim noktasıdır. Bu bağlamda, 5403 sayılı Toprak Koruma ve Arazi

Kullanımı Kanunu kapsamında, 2016 yılında alınan Bakanlar Kurulu kararı ile Düzce Ovası “Büyük Ova Koruma Alanı” statüsüne alınmıştır. Söz konusu koruma statüsüyle birlikte, ova sınırları içinde gerçekleştirilecek tarım dışı arazi kullanımları Toprak Koruma Kurulu onayına bağlanmış, kaçak yapılaşmaların önüne geçilmesi ve mevcut tarım alanlarının korunarak üretimin sürdürülebilirliğinin sağlanması amaçlanmıştır.

Ancak yapılan uydu görüntüsü analizleri ve arazi kullanım sınıflandırmaları, 1999 ile 2024 yılları arasında tarım alanlarında dikkate değer bir azalma yaşandığını göstermektedir. Bu bulgu, koruma amaçlı mevzuatın uygulamada yeterince etkili olmadığını ortaya koymakta ve denetim süreçlerinin güçlendirilmesi gerektiğine işaret etmektedir.

Düzce ilinde yapılan arazi kullanım değişimi analizleri, son çeyrek yüzyılda özellikle yapay yüzeylerin belirgin bir artış gösterdiğini ve bu artışın doğal alanlar üzerinde önemli bir baskı oluşturduğunu ortaya koymaktadır. Bu çerçevede, kentleşmenin daha kontrollü yönetilebilmesi için Düzce Belediyesi ve ilçe belediyelerinin güncel uzaktan algılama verileri ile Coğrafi Bilgi Sistemlerini kullanarak imar planlarını yeniden gözden geçirmesi ve plansız yapılaşmaların önüne geçmek amacıyla dijital izleme sistemlerini devreye alması büyük önem taşımaktadır. Benzer şekilde, Düzce İl Özel İdaresi'nin özellikle kırsal yerleşim alanlarında yapı ruhsat süreçlerini sıkı denetime tabi tutması ve yapılaşma eğilimlerini düzenli olarak izlemesi gerekmektedir. Üniversiteler ve diğer eğitim kurumlarının, kentleşme eğilimlerine yönelik mekânsal modellemeler üretmeleri ve bu verileri yerel yönetimlerle paylaşmaları, karar alma süreçlerini bilimsel temele dayandıracaktır. Ayrıca sivil toplum kuruluşlarının, yapay alanların doğaya olan etkileri konusunda kamuoyunda farkındalık oluşturacak eğitim ve medya faaliyetleri yürütmesi çevresel bilinç açısından önem arz etmektedir.

Orman alanlarının zaman içinde azalması ve yapılaşma baskısı altında kalması, doğal dengenin korunması açısından ciddi riskler doğurmaktadır. Bu nedenle, Düzce Belediyesi ve ilçe belediyeleri sınır mahallelerde yapılaşmayı orman ekosistemlerinden uzak tutacak şekilde tampon bölgeler planlamalıdır. Üniversiteler ve diğer eğitim kurumları, orman alanlarındaki değişimi detaylı mekânsal analizlerle takip etmeli ve sürdürülebilir yönetim stratejileri geliştirmelidir. Sivil toplum kuruluşlarının gönüllü izleme ağları oluşturarak ve katılımcı bilinçlendirme faaliyetleri düzenleyerek ormanların korunmasına yönelik farkındalık çalışmalarını yaygınlaştırmaları önerilmektedir.

Tarım alanlarında gözlemlenen azalma, özellikle Düzce Ovası gibi yüksek verimli arazilerde, sürdürülebilir tarım uygulamaları açısından tehdit oluşturmaktadır. Bu

bağlamda, Düzce İl Tarım ve Orman Müdürlüğü'nün denetim kapasitesini artırarak tarım dışı kullanım taleplerini daha etkin değerlendirmesi, Toprak Koruma Kurulu kararlarının uygulamasını sıkı biçimde izlemesi ve dijital denetim araçlarını devreye alması gerekmektedir. Düzce Belediyesi ve ilçe belediyeleri, tarım alanlarını öncelikli koruma altına almalı ve kırsal bölgelerde alternatif gelir kaynaklarını teşvik ederek yapılaşma baskısını azaltmalıdır. Üniversiteler ve diğer eğitim kurumları ise ova alanlarındaki mekânsal tarım potansiyelini ortaya koyan projeler geliştirerek, kırsal kalkınmaya destek olacak araştırmalar yürütmelidir. Sivil toplum kuruluşları da tarım topraklarının korunmasına yönelik toplumsal bilinci artıran kampanyalar düzenlemelidir.

Düzce'deki su yapılarına ilişkin analizler, yapılaşma ve nüfus artışı ile su kaynakları üzerinde önemli bir baskı oluştuğunu göstermektedir. Düzce Belediyesi, yerel ölçekte su yönetim planları geliştirerek hem bu kaynakların korunmasını sağlamalı hem de yapılaşmaya açık alanları sınırlandırmalıdır. Üniversiteler ve diğer eğitim kurumları, su kütlelerinin mekânsal değişimini izleyen uzun vadeli projeler yürütmeli ve bu değişimleri iklimsel süreçlerle ilişkilendirerek bilimsel veri üretmelidir. Sivil toplum kuruluşları ise çevre temizlik kampanyaları, çevre eğitimi etkinlikleri ve su kaynaklarına yönelik bilinçlendirme çalışmaları yürüterek sürdürülebilir su yönetimine katkı sunmalıdır.

Tüm bu kurumsal öneriler, ilgili paydaşların kendi sorumluluk alanlarında alabileceği önlemleri somutlaştırmakta olup, arazi kullanım yönetiminin sürdürülebilirliğini sağlamak açısından çok aktörlü bir yaklaşımı önermektedir. İlgili öneriler, kategorilere göre ayrıntılı biçimde Çizelge 5.1'de sunulmuştur.

Çizelge 5.1. Tez önerileri

Kurum	Kategori	Öneri Özeti
Belediyeler	Yapay Alanlar	İmar planları güncellenmeli, dijital izleme sistemleri kurulmalı
İl Özel İdareleri	Yapay Alanlar	Kırsal yapılaşma denetlenmeli, ruhsat süreçleri sıkılaştırılmalı
Eğitim Kurumları	Yapay Alanlar	Kentsel büyüme senaryoları üzerine mekânsal analizler yapılmalı
STK'lar	Yapay Alanlar	Kentleşmenin çevresel etkileri için farkındalık kampanyaları
Belediyeler	Orman	Tampon bölgeler oluşturulmalı, orman sınırları korunmalı
İl Özel İdareleri	Orman	Parçalanmayı önleyen bölgesel stratejiler geliştirilmeli
Eğitim Kurumları	Orman	Orman değişimleri üzerine mekânsal analiz ve projeler
STK'lar	Orman	Gönüllü izleme ağları kurulmalı, bilinçlendirme yapılmalı
İl Tarım Müdürlükleri	Tarım	Denetimler artırılmalı
Belediyeler	Tarım	Alternatif kırsal kalkınma desteklenmeli, yapılaşma azaltılmalı
Eğitim Kurumları	Tarım	Tarım alanları ve kırsal kalkınma üzerine projeler üretilmeli
STK'lar	Tarım	Toprak koruma bilinci için kamuoyu oluşturulmalı
Belediyeler	Su Yapıları	Su yönetim planları hazırlanmalı, yapılaşma sınırlandırılmalı
İl Özel İdareleri	Su Yapıları	Su kullanımı için tasarruflu teknolojiler teşvik edilmeli
Eğitim Kurumları	Su Yapıları	Su kütleleri izlenmeli, iklimsel etkilerle ilişkilendirilmeli
STK'lar	Su Yapıları	Su kaynakları için çevre eğitimi ve kampanyalar yapılmalı

KAYNAKLAR

- Alqurashi, A. F., ve Kumar, L. (2014). Land Use and Land Cover Change Detection in the Saudi Arabian Desert Cities of Makkah and Al-Taif Using Satellite Data. *Advances in Remote Sensing*, 106-119.
- Aydın, T. K., ve Durduran, S. S. (2021). Ereğli-Bor Alt Havzasında Arazi Kullanımı/Örtüsü'nün Uzaktan Algılama Yöntemleriyle Zamansal Değişimi. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 629-641.
- Butler, K. (2013). *Band Combinations for Landsat 8 Imagery*. Esri. <https://www.esri.com/arcgis-blog/products/product/imagery/band-combinations-for-landsat-8>, [Ziyaret Tarihi: 12 Şubat 2025].
- Ceylan, M., ve Maktav, D. (2012). *Uzaktan Algılama ve CBS ile Kıyı Çizgisi Değişiminin Belirlenmesi: İzmit Körfezi Örneği*.
- Çağlayan, E. B., Erel, F., Samur, E. B., Deniz, M., Mobariz, M. A., ve Kaplan, G. (2020). *Uzaktan Algılama Teknikler ile Akşehir Gölü'ndeki Alansal Değişiminin İzlenmesi*. 70-76.
- Çatal Reis, H., ve Yılcı, G. (2020). Destek Vektör Makineleri ve NDVI Kullanarak Pamuk Ekili Alanların Tespiti: Harran Ovası Örneği. *Türkiye Uzaktan Algılama Dergisi(TUZAL)*.
- Çorumluoğlu, Ö. (2002). *Uzaktan Algılama Görüntülerinde Dijital Görüntü İşleme ve RSImage YAZILIMI*.
- Altuntaş, C., ve Çorumluoğlu, Ö. (2002b). *Uzaktan Algılama Görüntülerinde Digital Görüntü İşleme ve RSImage Yazılımı*.
- Çölkesen, İ., Kavzoğlu, T., ve Yomralıoğlu, T. (2015). Uzaktan Algılanmış Görüntülerde Optimum Bantların Seçiminde Destek Vektör Makinelerinin Kullanımı. *TUFUAB VIII. Teknik Sempozyumu*.
- Çölkesen, İ., ve Kavzoğlu, T. (2008). *Destek Vektör Makineleri Kullanarak Arazi Örtüsünün Sınıflandırılması: Gebze Örneği*.
- Döker, M. F., ve Gül, A. (2019). Adapazarı'nda Şehirsiz Büyüme Süreci ve Arazi Kullanım Değişiminin İzlenmesi (1985-2019). *Türk Coğrafya Dergisi*, 73, 67-78.
- Düzce Valiliği. *Coğrafya*. Düzce Valiliği. <http://www.duzce.gov.tr/coğrafya>, [Ziyaret Tarihi: 16 Şubat 2025].
- Düzce Valiliği. *Coğrafya*. Düzce Valiliği. <http://www.duzce.gov.tr/tarih>, [Ziyaret Tarihi: 8 Mayıs 2025].
- European Environment Agency. (2022). *CORINE Land Cover 2018*. Copernicus.
- Firat, H., ve Hanbay, D. (2022). 4CF-Net: New 3D Convolutional Neural Network for Spectral Spatial Classification of Hyperspectral Remote Sensing Images. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 439-453.
- Foody, G. M. (2002). Status of Land Cover Classification Accuracy Assessment. *Remote Sensing of Environment*, 185-201. www.elsevier.com/locate/rse
- He, H., ve Edwardo A. Garcia. (2009). Learning from Imbalanced Data. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, 21(9), 1263-1284.
- Kandil, S., ve Gonca Coşkun, H. (2016). Uydu Verileri ile Veri Entegrasyonu ve Yöntemleri. *Geomatik Mühendisliği Bölümü* (C. 34469).
- Karaman, N., Aksoy, S., Cesur, F., ve Saygın, F. (2022). Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemi Teknikleri Kullanılarak Kentleşmenin Tarım Arazileri Üzerindeki Etkisinin Belirlenmesi. *Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi*, 385-394.
- Kavak, K. Ş. (1998). *Uzaktan Algılamanın Temel Kavramları ve Jeolojideki Uygulama Alanları*.

- Kavzoglu, T., Tonbul, H., Yildiz Erdemir, M., ve Colkesen, I. (2018). Dimensionality Reduction and Classification of Hyperspectral Images Using Object-Based Image Analysis. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 1297-1306.
- Khan, R., Jhariya, D., ve Jhariya, D. C. (2016). Land Use Land Cover Change Detection Using Remote Sensing and Geographic Information System in Raipur Municipal Corporation Area, Chhattisgarh. *Scientific Society of Advanced Research and Social Change SSARSC International Journal of Geo Science and Geo Informatics*.
- Lillesand, T. M. Kiefer, R. W., ve Chipman, J. W. (2018). *Uzaktan Algılama ve Görüntü Yorumlama* (K. Ş. Kavak, Ed.). Palme Yayınevi.
- Lu, D., ve Weng, Q. (2007). A Survey of Image Classification Methods and Techniques for Improving Classification Performance. İçinde *International Journal of Remote Sensing* (C. 28, Sayı 5, ss. 823-870). Taylor and Francis Ltd.
<https://doi.org/10.1080/01431160600746456>
- Mutlu, Z., Kazancı, B., Özçetin, Y., ve Sarıyılmaz, B. (2020). Akşehir Gölü Zamansal değişiminin Bant Oranlama Yöntemleri ile Belirlenmesi. *Türkiye Uzaktan Algılama Dergisi(TUZAL)*.
- Mustafayev, İ. (2022). Karabağ (Azerbaycan) İşgali Nedeniyle Yöre Arazi Örtüsü ve Kullanımındaki Değişimlerin Uzaktan Algılama Yöntemleri ile Tespit ve Analizi. Mühendislik Fakültesi.
- Önkol, C., ve Menteşe, S. (2023). Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Teknikleri Kullanarak Arazi Kullanımının Zamansal Değişiminin Belirlenmesi: Pamukova (Sakarya) Örneği (1984-2022). *Ege Coğrafya Dergisi*, 32(2), 343-359.
- Rahaman, Sk. N., ve Shermin, N. (2021). Identifying Built-up Area Expansion and Comparing Two Conventional Built-up Area Extraction Method from LANDSAT Imagery: A Case Study on Khulna City. *Academia Letters*.
- Richards, J. A., & Jia, X. (2006). Remote Sensing Digital Image Analysis: An introduction. Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/3-540-29711-1>
- Rimal, B., Zhang, L., Keshtkar, H., Haack, B. N., Rijal, S., ve Zhang, P. (2018). Land Use/Land Cover Dynamics and Modeling of Urban Land Expansion by The Integration of Cellular Automata and Markov Chain. *ISPRS International Journal of Geo-Information*,
- Sadik, S., ve Sarıyılmaz, F. B. (2022). *Alibeyköy Havzası Arazi Örtüsü ve Arazi Kullanımı Zamansal Değişiminin Uzaktan Algılama Yöntemleri ile İncelenmesi*.
- Sunar, F., Özkan, Ç., ve Osmanoglu, B. (2018). *Uzaktan Algılama Dergisi*.
- Şahin Taysun, K., ve Taysun, A. (2021). Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistem Teknikleri Kullanılarak Manisa Akselendi Ovası'nda Arazi Kullanım/Örtüsündeki Zamansal Değişiminin İzlenmesi. *Cilt*, 16, 169-177.
- Türk Altun, Ö., ve Şenol, S. (2021). Mersin Büyük Ova Koruma Alanının Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Kullanılarak Arazi Kullanımındaki Zamansal Değişimlerin İzlenmesi. *Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi* (ss. 12-21). Çukurova Üniversitesi.
- Ulutürk, B., ve Aydın, F. (2023). Uzaktan Algılama (UA) Teknikleri ile Uluabat Gölü Su Yüzey Alanı ve Yakın Çevresindeki Arazi Kullanım Faaliyetlerinin Zamansal Değişiminin Belirlenmesi. *Turkish Studies*, 1720-1742.